

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

RAKENNUS- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN OSASTO

Pohjarakennus ja maamekaniikka

Terhi Mikkonen

**PENGERPAALURAKENTEET
LIIKENTEEEN ALAISILLA RAITEILLA**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten Espoossa 20.12.2005.

Työn valvoja: Professori Pauli Vepsäläinen

Työn ohjaaja: TkL Mauri Kulman

Tekijä:	Terhi Mikkonen		
Diplomityö:	Pengerpaalurakenteet liikenteen alaisella raiteella		
Päivämäärä:	20.12.2005	Sivumäärä:	107+9
Professuuri:	Pohjarakennus ja maamekaniikka	Koodi:	Rak-50
Valvoja:	Professori Pauli Vepsäläinen		
Ohjaaja:	TkL Mauri Kulman		

Tämä työ on tehty Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelun georyhmässä. Työn on rahoittanut Ratahallintokeskus. Työn ohjauksen johtoryhmään on kuulunut asiantuntijoita Ratahallintokeskuksesta ja VR-Radan Rautatiesuunnittelun geo- ja siltaryhmistä.

Tässä työssä tarkasteltiin pengerpaalurakenteita eli paaluhattualueita ja paalulaattoja. Työssä esiteltiin pengerpaalurakenteet yleisellä tasolla. Rakenteiden korjaamis- ja rakentamismenetelmiä tarkasteltiin erityisesti liikenteen alaisen raiteen näkökulmasta. Rautatieympäristö asettaa rakentamiselle erityisiä vaatimuksia. Rakentamisen nopeus ja jaksotus sopiviin raidevarauksiin on erityisen tärkeää. Rakentamiskustannusten lisäksi merkittävässä asemassa ovat liikennehaittakustannukset. Liikennehaittakustannuksiin vaikuttaa monet eri tekijät, joten niiden arvioiminen on haastavaa. Tavoitteena oli vertailla rakentamismenetelmiä ja esittää suosituksia kunkin menetelmän soveltuvuudesta liikenteen alaiselle raiteelle. Työn tavoitteena oli myös esittää ehdotuksia jatkotutkimuksen aiheeksi.

Työssä tutkittiin pengerpaalurakenteita kirjallisuusselvityksen ja asiantuntijoiden haastattelujen avulla. Pengerpaalurakenteiden yleinen esittely tehtiin olemassa olevan kirjallisuuden pohjalta. Rakentamismenetelmistä saatiin tietoa haastatteleamalla kokeneita suunnittelijoita, rakentajia ja radan kunnossapitäjiä. Kaikista uusista vielä kehitteillä olevista menetelmistä ei ollut saatavissa käytännön kokemukseen perustuvaa tietoa. Kehitteillä olevien menetelmien arvioiminen perustuu kokeneiden asiantuntijoiden esittämiin arvioihin.

Liikenteen alaiselle raiteelle todettiin parhaiten soveltuvan menetelmät, joiden rakentaminen häiritsee junaliikennettä mahdollisimman vähän. Paalulaatan rakentaminen on varmin tapa poistaa raiteen painumaongelmat kymmeniksi vuosiksi eteenpäin. Rataverkon vilkkaimmin liikennöidyille rataosille kuuden tunnin raidevaraus on kohtuullisin kustannuksin järjestettävissä. Tätä pidemmät raidevaraukset vaativat mittavia junaliikenteen erikoisjärjestelyjä. Jos parannettavalla rataosalla sillan rakentamis- ja uusimistyöt vaativat esim. 12 tunnin raidevarauksen, myös paalulaattarakenteiden teossa tai korjauksessa voidaan valita em. katkoon sopiva työmenetelmä. Menetelmät, joiden avulla paalulaatat voidaan rakentaa joko kerralla nopeasti valmiiksi tai osissa useassa lyhyessä raidevarauksessa, tulevat entistä tärkeämmiksi. Menetelmät, jotka vaativat yli vuorokauden raidevarauksen, soveltuvat ainoastaan kaksi- tai useampiraiteisille rataosille. Työmenetelmien jatkokehittelyä tarvitaan edelleen.

Author: Terhi Mikkonen

Title of thesis: Construction of embankment pile structures on an operational railway

Date: December 20, 2005

Number of pages: 107+9

Chair: Soil Mechanics and
Foundation Engineering

Code: Rak-50

Supervisor: Pauli Vepsäläinen, Professor

Instructor: Mauri Kulman, Lic.Sc. (Tech.)

This study was carried out in the department of geotechnology at VR Track Ltd. Railway Consulting and funded by the Finnish Railroad Administration. It was supervised by specialists from VR Track Ltd. and the Finnish Railroad Administration.

The purpose of this research was to examine embankment pile structures, i.e. both pile cap structures and pile plates. The opening chapter deals with embankment pile structures in general. Specific emphasis is paid to reconstruction and construction of embankment pile structures on operational railway tracks. Construction is much more challenging than usual in the difficult setting of an operational railway, as rail traffic imposes practical constraints on the progress of construction. Reorganisation of rail traffic may be expensive. The aim of this thesis was to compare different construction methods and evaluate the efficiency of each method in the setting of an operational railway. A further aim was to make suggestions for follow-up research.

The chosen method of study incorporates a literature review and interviews with specialists. The literature survey provides a general overview of embankment pile structures. Experienced engineers, builders and track maintenance personnel provided further in-depth information about construction methods. Some of the newest methods have not been put into practice yet, hence it was impossible to obtain reliable information on their efficacy and cost. The evaluation of the new methods is based on estimates made by experienced specialists.

The following observations were made: The best methods are those that cause minimum disturbance to rail traffic. Construction of a pile plate is the most reliable means of preventing the track settlement for decades. For most tracks in Finland, a traffic break of 6 hours can be managed at reasonable cost. Longer breaks require complicated and costly reorganisation of train timetables. The chosen method must suit the construction of the site in question. For example, in the case of the reconstruction of a bridge, which requires a break of 12 hours, it is practical to choose the pile plate method, which can be carried out during the same break. Methods with which pile plates can be constructed rapidly in one session or in a succession of suitably short periods are recommended. Methods requiring a break longer than 24 hours are suitable only for tracks with two or more rails. There is, however, an obvious need for further improvement of existing construction methods.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Oy VR-Rata Ab:n rautatiesuunnittelun georyhmässä. Työn on tilannut Ratahallintokeskus. Diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun Rakennus- ja ympäristötekniikan osaston professori Pauli Vepsäläisen valvonnassa. Työn tekemistä varten perustettiin ohjausryhmä, johon kuuluivat Mikko Heiskanen ja Tuomo Viitala Ratahallintokeskuksesta sekä Mauri Kulman, Esko Matela ja Ilkka Sinisalo Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelusta.

Haluan kiittää koko ohjausryhmää osallistumisesta ja avusta. Sain aina tarvittaessa vastauksia kysymyksiini ja apua ongelmiini. Erityiskiitokset Esko Matelalle. Professori Pauli Vepsäläistä kiitan kiinnostuksesta diplomityötäni kohtaan. Kiitos myös kaikille haastatelluille ja muilla tavoin tutkimustyössäni avustaneille. Työkavereille kiitos mukavan työilmapiirin luomisesta ja kannustuksesta.

Kiitos ystäväilleni ja sukulaisilleni tukemisesta työn aikana ja muutenkin elämässä. Erityiskiitokset Antille, Mirkulle ja Merjalle.

Työ on tehty ja vaiva on nähty.

Helsingissä, 20.12.2005

Terhi Mikkonen

KÄSITTEET

Aukean tilan ulottuma (ATU) = Pitkin raidetta ulottuva tila, jonka sisäpuolella ei saa olla kiinteitä rakenteita eikä laitteita.

Eroin (E) = Sähköistettyyn rataan liittyvä mekaanisesti toimiva kytkinlaite, joka auki-asennossa saa aikaan luotettavan avausvälin ja kiinni-asennossa kykenee johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran, mutta jolta ei vaadita katkaisu- eikä sulkemiskykyä.

Erotusjakso (EJ) = Sähköistettyyn rataan liittyvä rakenne, jossa ajojohdin on vierekkäisten syöttöalueiden rajalla eristetty pituussuunnassa kahdesta peräkkäisestä kohdasta, joiden väliin jää maadoitettu osa.

Jännitekatko = Sähkölaitteiston tietyn osan tekeminen jännitteettömäksi.

”Kelluva” penger = Pehmeikölle suoraan pohjamaan tai erilaisten puuarinoiden varaan rakennettu penger, jossa penkereen ja kantavan pohjamaan välissä on pehmeä turve- tai savikerros.

kv = Radan korkeusviiva

Pehmeikko = Yleisesti maaperä, joka koostuu koheesio- tai eloperäisistä maalajeista.

Raidevaraus = Kahden aikataulun mukaisen junan välinen aika, joka on mahdollista varata työntekoa varten.

Ryhmyseristin (RE) = Sähköistettyyn rataan liittyvä eristin, joka jakaa ajojohtimen kahteen sähköiseen ryhmään siten, että alta kulkeva virroitin voi ottaa koko ajan tehoa

UPAS = Uusi pienapusilta

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT.....	4
KÄSITTEET.....	5
1 JOHDANTO	8
1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA.....	8
1.2 TUTKIMUSKOHDDE.....	9
1.3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUKSET	9
2 PINGERPAALURAKENTEET SUOMEN RATAVERKOLLA	11
2.1 HISTORIAA	11
2.2 PEHMEIKÖILLÄ KÄYTETYT POHJANVAHVISTUSMENETELMÄT	13
2.3 PAALUHATTURAKENTEET	16
2.4 PAALULAATTATYYPIT	18
2.4.1 Yleistä.....	18
2.4.2 Paikalla valettavat paalulaatat.....	18
2.4.3 Elementtilaatat	21
2.5 PAALULAATTARAKENTEIDEN YLEISET SUUNNITTELUPERUSTEET.....	24
2.5.1 Eri aikoina noudatetut suunnitteluperusteet yleisesti	24
2.5.2 Suunnitteluperusteet erityisesti rautateillä	26
3 SIENILAATTARAKENTEET	28
3.1 YLEISTÄ.....	28
3.2 SIENILAATTARAKENTEIDEN SIJAINTI.....	28
3.3 PINGERPAALURAKENTEIDEN ONGELMIEN TUNNISTAMISMENETTELY	30
3.3.1 Yleistä radantarkastuksesta	30
3.3.2 Kunnossapidon raportointi	31
3.3.3 Tarkastusvaunumittaus	32
3.3.4 Maatutkaus.....	35
3.4 YLEISIMMÄT VAURION AIHEUTTAJAT PINGERPAALURAKENTEILLE	38
3.4.1 Yleistä.....	38
3.4.2 Ongelman aiheuttajia.....	38
4 PAALULAATTOJEN RAKENTAMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	42
4.1 YLEISTÄ	42
4.2 PAINUMA-ALUEEN HOITAMINEN LISÄÄMÄLLÄ KUNNOSSAPITOAA.....	42
4.3 PAALULAATTOJEN RAKENTAMISEN KUSTANNUKSET.....	44
4.3.1 Yleistä.....	44
4.3.2 Raidevaraukset ja jännitekatkot.....	45
4.3.3 Paalulaattojen rakentamiskustannukset yleisellä tasolla	47
4.4 RAIDELIIKENTEELLE AIHEUTUVISTA HAITOISTA SYNTYVÄT KUSTANNUKSET.....	48
5 PAALUHATTURAKENTEIDEN KORJAAMINEN	51
5.1 YLEISTÄ.....	51

5.2 KEVYET KORJAUSMENETELMÄT.....	53
5.2.1 Tyhjätilan täyttö	53
5.2.2 Korjaus lujitekankaan tai –verkon avulla	56
5.3 JÄREÄMMÄT KORJAUSMENETELMÄT	58
5.3.1 Korjaus stabilointilaattaelementin avulla.....	58
5.3.2 Teräsponttilevyn vaakaponttaus.....	59
5.3.3 Elementtien päälle valettava teräsbetoni-laatta.....	60
5.3.4 Paaluhattujen korjaus teräsbetoni-laatan avulla UPAS-jonon alla	61
6 PAALULAATAN RAKENTAMINEN: TOTEUTETUT MENETELMÄT	62
6.1 YLEISTÄ	62
6.2 PITKITTÄISPALKKIEN PÄÄLLÄ POIKITTAISET ELEMENTTILAATAT (TYYPPIÄ ERMANNINSUO).....	64
6.2.1 Yleistä.....	64
6.2.2 Vanhan laatan vauriokuvaus.....	64
6.2.3 Kapasiteetilaskelmat	67
6.2.4 Uuden laatan rakentaminen.....	67
6.3 NELJÄN PAALUN LAATTAELEMENTTI (TYYPPIÄ KOIVUKYLÄ)	73
6.3.1 Pengerlaatan/sillan taustalaatan rakentaminen	73
6.4 PAIKALLA RAKENTAMINEN RAIDEVARAUKSEN AIKANA (TYYPPIÄ AROLAMMI)	77
6.4.1 Laatan rakentaminen	77
7 PAALULAATAN RAKENTAMINEN: KEHITTEILLÄ OLEVAT MENETELMÄT	80
7.1 YLEISTÄ	80
7.2 PAALULAATAN RAKENTAMINEN UPAS-APUSILTOJEN ALLA PAIKALLAVALUNA ...	80
7.3 NELJÄN PAALUN LAATTAELEMENTTIMENETELMÄT.....	82
7.4 KOLMEN PAALUN LAATTAELEMENTTI, NOPEA JA UUSITTAVA VERSIO.....	85
7.5 TERÄSPUTKIPAALUT, POIKKIPALKIT JA JÄNNITETYT TERÄSBETONIELEMENTIT	86
8 RAKENTAMISMENETELMIEN VERTAILU	88
8.1 YLEISTÄ	88
8.2 PAALUHATTUALUEIDEN KORJAUSMENETELMIEN VERTAILU	89
8.3 PAALULAATTOJEN RAKENTAMISMENETELMIEN VERTAILU.....	91
8.4 JOHTOPÄÄTÖKSET	93
9 YHTEENVETO	95
LÄHDELUETTELO	101
HAASTATTELUT.....	107
LIITTEET.....	108

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Suomen ensimmäinen yleiselle liikenteelle tarkoitettu rautatie valmistui vuonna 1862 Helsingin ja Hämeenlinnan välille. Suurin osa Suomen rataverkosta on rakennettu 1800-luvun lopussa ja 1900-luvun alussa. Tuohon aikaan rataa rakennettiin miestyövoimalla lapiot ja hevoset apuvälineinä. Massan siirtoja pyrittiin tekemään mahdollisimman vähän. Näin ollen Suomen rataverkko on perustettu pääosin maanvaraisesti mahdollisimman tasaiselle maaperälle kuten pelloille ja suoalueille. Maaperätutkimuksia ei tuohon aikaan tehty.

Yksi pehmeiköillä yleisesti käytettävä perustamismenetelmä on paalutus. Penger- ja junakuorma siirretään paalujen välityksellä kantaviin maakerroksiin. Pengerpaalutusta on käytetty Pohjois-Euroopassa jo yli 50 vuoden ajan. Ensimmäiset paalutetut penkereet perustettiin suoraan puupaalujen ja louhetäytön varaan. Paaluhattujen rakentaminen aloitettiin 1960-luvulla Ruotsissa ja pian tämän jälkeen paaluhattujen tekeminen aloitettiin myös Suomessa. Paalutettujen pengerrakenteiden tekoa on Suomessa perinteisesti vältetty, koska sitä on pidetty työläänä menetelmänä. Rautateillä paaluhatturakenteiden käyttö aloitettiin 1970-luvun alussa.

Paaluhatturakenteiden toimivuudessa ratarakenteessa on kuitenkin havaittu ongelmia, jonka vuoksi niitä ei enää rakenneta uusille radoille. Paaluhatturakenteet ovat erittäin vaurioherkkiä. Erityisesti, mikäli paaluhatturakenteissa ei ole pengertäytteen vuotoa tai hattujen kallistumista estäviä rakenteita. Tierakenteessa paaluhatturakenteet ovat toimineet paremmin, koska asfalttipinta estää veden pääsyn suoraan rakenteeseen. Myös rautatierakenteeseen kohdistuva värinä heikentää paaluhattujen holvautumista. Paaluhatturakenteissa havaittujen ongelmien myötä paalulaatat syrjäyttivät paaluhatturakenteet 1990-luvun alussa.

Suurin osa pehmeiköille rakennetuista radoista on perustettu maanvaraisesti. Monilla tällaisilla rataosilla rata on painunut ja radan kunnossapitoa on täytynyt lisätä. Painumat aiheutuvat heikosta stabiliteetista tai pohjamaan kokoonpuristumisesta. Painumat kor-

jataan usein radan tukikerrosmateriaalia lisäämällä. Tämä kasvattaa penkereen painoa ja nopeuttaa radan painumista entisestään. Rautatieliikenteen kehittyminen on tuonut mukanaan suuremmat ajonopeudet ja tiukentuneet turvallisuusvaatimukset. Tämä on aiheuttanut lisävaatimuksia penkereen painumattomuuden suhteen. Näiden syiden takia on herännyt mielenkiinto uuden tyyppisiä pohjanvahvistusmenetelmiä kohtaan. Lisäksi rataverkolla on runsaasti paaluhattu- ja paalulaattarakenteita, joiden nykyisestä kunnosta ei ole tietoa. Rakenteet ikääntyvät ja niiden seurantaan ei ole olemassa yhtenäistä järjestelmää.

Rakentaminen liikenteen alaisella raiteella aiheuttaa junaliikenteelle merkittävää haittaa. Liikennehaittakustannukset on huomioitava rakennuskustannuksissa. Hyvien korjaus- ja rakentamismenetelmien kehittämiseksi liikenteen alaiselle raiteelle on tarve. Onnistunut lopputulos edellyttää esitettyjen osa-alueiden tarkoituksenmukaista yhteensovittamista.

1.2 Tutkimuskohde

Tutkimuksessa esitetään Suomessa käytetyt pengerpaalurakenteet. Liikenteen alaiselle raiteelle sopivat paaluhatturakenteiden korjaamismenetelmät ja paalulaatan rakentamismenetelmät esitellään yksityiskohtaisesti. Osaa esitetyistä rakentamismenetelmistä kehitetään parhaillaan. Nämä menetelmät esitetään tämän hetkisen tietämyksen mukaan.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on esitellä pengerpaalurakenteet ottamalla huomioon liikenteen alaisen raiteen erityisvaatimukset. Paaluhatturakenteiden korjausmenetelmiä ja paalulaattojen rakentamismenetelmiä vertaillaan sekä rakentamis- että liikennehaittakustannuksiltaan. Tavoitteena on antaa suosituksia menetelmien soveltuvuudesta liikenteen alaiselle raiteelle. Tutkimuksessa pyritään arvioimaan, onko paalulaatan rakentaminen taloudellisesti kannattavaa vai kannattaako painuma-alueita hoitaa esimerkiksi radan kunnossapitoa lisäämällä. Tutkimuksen tavoitteena on herättää aiheesta kysymyksiä ja arvioida jatkokehitystarvetta. Kehitystyötä viedään eteenpäin tulevissa projekteissa.

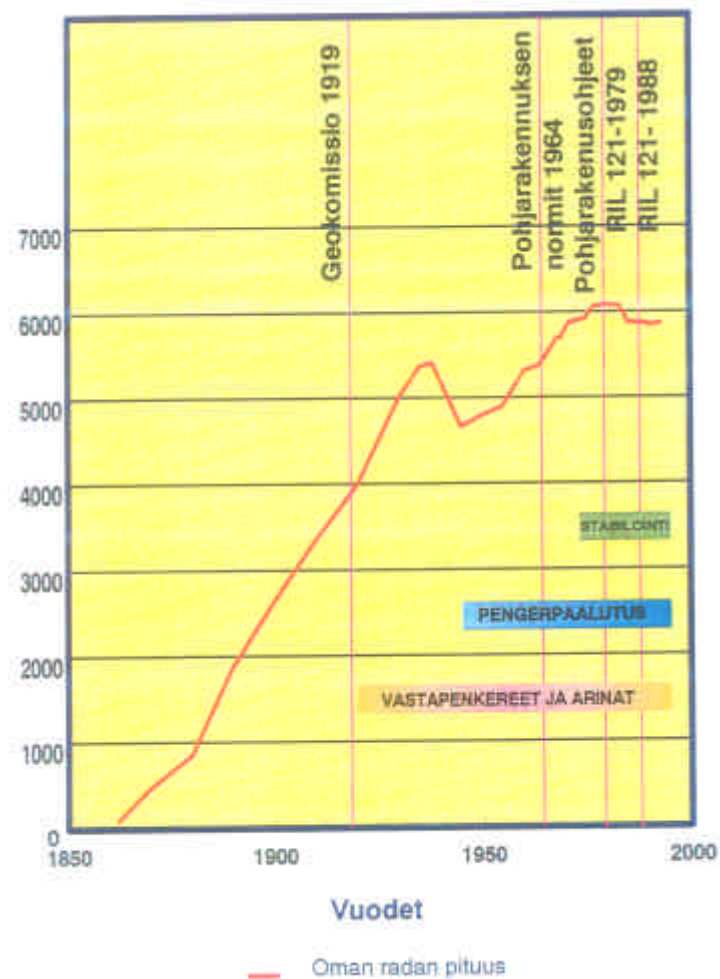
Tutkimuksessa keskitytään rautateillä käytettyihin pengerpaalurakenteisiin. Junaliikenne asettaa erityisvaatimuksia rakentamismenetelmille. Menetelmiä on tarkasteltu ottaen huomioon liikenteen alaisen raiteen erityisvaatimukset, mutta monet esitetyistä menetelmistä soveltuvat myös uuden radan rakentamiseen.

Tutkimuksessa esitetään sienilaattarakenteiden sijainti Suomen rataverkolla. Muun tyyppisten paalulaatta- ja paaluhatturakenteiden sijainnin selvittäminen sekä paalulaatta-rekisteri tehdään erillisenä työnä.

2 Pengerpaalurakenteet Suomen rataverkolla

2.1 Historiaa

Ensimmäiset rautatiet rakennettiin 1700-luvulla Englannissa, kun kaivoksiin tarvittiin aikaisempaa tehokkaampi tapa nostaa kaivannaisia maan pinnalle. Suomen ensimmäinen rautatie valmistui vuonna 1862 Helsingin ja Hämeenlinnan välille. 1800-luvun lopulla juna oli lähes ainoa varteenotettava kulkuväline pidemmille matkoille. Rautatiet olivat ja ovat edelleen kuljetuskyvyltään maanteitä huomattavasti tehokkaampi väylä sekä matkustajien että tavaroiden siirtoon. Suomen rataverkon kokonaispituus on n. 5800 km (RHK 2005a). Kuvassa 2.1 on esitetty ratojen rakentamisen ja geoteknisten määräysten ja ohjeiden kehittyminen 1800-luvulta 1900-luvun loppuun. (Wikipedia 2005)



Kuva 2.1. Rakennetut radat ja geotekniikka. (Fagerholm 1997)

Kuvan 2.1 mukaan suurin osa Suomen rataverkosta on rakennettu 1800-luvun lopulla ja 1900-luvun alkupuolella. Ensimmäiset radat rakennettiin miestyövoimalla. Raiteen geometria suunniteltiin siten, että massansiirtoja jouduttiin tekemään mahdollisimman vähän. Radat rakennettiin mahdollisimman tasaiseen maastoon kuten pelloille ja soiden reuna-alueille, joista suuri osa oli pehmeikköä. Vastapenkereiden ja sora-arinaperustusten käyttö aloitettiin 1920-luvulla ja pengerpaalutus 1950-luvulla. Stabiointi aloitettiin 1970-luvun loppupuolella.

Vuonna 1919 perustettiin Geokomissio, joka kiinnitti huomiota pohjarakentamiseen. Ensimmäiset pohjarakennuksen normit laadittiin kuitenkin vasta vuonna 1964, jolloin rataverkosta oli rakennettu suurin osa. Taulukossa 2.1 on esitetty peruskarttaselvityksen perusteella arvioidut maastotyytit. Selvityksessä on tutkittu pääradat, yhteensä noin 2150 km eli noin kolmasosa rataverkosta. (Suomalainen 2005)

Taulukko 2.1. Maastotyytit pääradoilla peruskarttaselvityksen perusteella. (Rataverkko 2020, 1999)

Maastotyyppi	[%]
Metsä	43
Pelto	26
Suo	11
Kallioleikkaus	3
Taajama	11
Maaleikkaus	4
Vesistö	2
Tunneli	1

Taulukon mukaan selvityksessä tutkituilla rataosilla 37% radasta sijaitsee pehmeiköllä. Tästä johtuen ratojen painuminen ja stabiiliteettiongelmat ovat hyvin merkittäviä ongelmia Suomen rataverkolla.

Uusia ratoja on rakennettu 1900-luvun loppupuolella melko vähän. Suurimpia hankkeita ovat olleet Äänekoski-Haapajärvi –rata, joka valmistui vuonna 1960 sekä 1970-luvulla rakennetut Martinlaakson lähiliikennetie ja Kontiomäki-Vartius –rata. Oikoratoja ovat vuonna 1970 valmistunut Tampere-Parkano-Seinäjäki, vuonna 1976 valmistunut Jäm-

sänkoski-Jyväskylä sekä vuonna 2006 valmistuva Kerava-Lahti –oikorata. (Grafiscreen 2005)

2.2 Pehmeiköillä käytetyt pohjanvahvistusmenetelmät

1900-luvun puoliväliin saakka radat rakennettiin suoraan pohjamaan tai erilaisten puu-arinoiden varaan. Tällaisia penkereitä kutsutaan nykyään ”kelluviksi”, koska penkereen ja kantavan pohjamaan välissä on usein pehmeä turve- tai savikerros. Puuarinoita ja teloja on käytetty kolmea eri päätyyppiä, ristikko- eli näreteloja, telalavoja ja pienpuute-loja eli ns. risunkimattoja. Telan on oltava riittävän tukevarakenteinen, jotta maapohjalle tuleva kuormitusjakautuma sekä penkereen painuminen muodostuisivat mahdollisimman tasaisiksi. Telat rakennettiin tavallisesti havupuunrungoista. (Tie- ja vesirakennushallitus 1972)

Pengerpaalutusta on käytetty Pohjois-Euroopassa jo yli 50 vuoden ajan. Paalut olivat aluksi puuta ja penkereet rakennettiin suoraan paalujen päälle. Myöhemmin puupaalujen päälle rakennettiin louhetäyttö tai tela. Paaluhatturakenteen käyttö aloitettiin Ruotsissa 1960-luvun alussa, josta se levisi nopeasti myös Suomeen. Rautateillä paaluhattujen käyttö aloitettiin 1970-luvun alussa. Puupaaluista siirryttiin betonipaaluihin. Paalulaattojen rakentaminen rautateille aloitettiin 1990-luvun alussa paaluhatturakenteissa havaittujen ongelmien takia. (RIL 1974, Jääskeläinen & Rathmayer 1975, Kujala 2005)

Pengerpaalurakenteiden lisäksi muita käytettäviä pohjanvahvistusmenetelmiä ovat massanvaihto, vastapenkereet ja syvästabilointi. Perustamistavan valinta tehdään teknistaloudellisen vertailun perusteella ottaen huomioon paikalliset olosuhteet ja ympäristökijät. Massanvaihto on järkevää, kun pehmeikön syvyys on korkeintaan 5-6 metriä. Liikenteen alaiselle raiteelle massanvaihtoa ei yleensä tehdä.

Uusi menetelmä on suolle rakennetun, olemassa olevan ratapenkereen vakauttaminen stabiloimalla turvetta penkereen sivuilta ja liepeiden alapuolelta. Stabilointi jaetaan massa- ja pilaristabilointiin. Massastabiloinnissa stabilointiaine sekoitetaan koko stabiloitavaan maamassaan. Pilaristabiloinnissa stabilointiaine sekoitetaan ainoastaan pilari-maisesti osaan maamassasta. Stabilointi ei ole toimiva pohjanvahvistusmenetelmä vanhan raiteen kohdalla. Stabiloitaessa maan leikkauslujuus heikkenee useiksi vuorokau-

siksi ennen sideaineen kovettumista. Työn ja sideaineen kovettumisen aikana rataa ei voi liikennöidä. Usean vuorokauden tai jopa viikkojen yhtämittaiset raidevaraukset eivät yleensä ole Suomen vilkkaasti liikennöidyillä rautateillä mahdollisia. (Kulman 2005)

Stabilointi lisää stabiloitavan turpeen tai saven leikkauslujuutta ja parantaa penkereen vakavuutta. Massastabilointi on kustannuksiltaan noin kolminkertainen vastapengerrakentamiseen verrattuna. Turve käyttäytyy stabiloinnissa eri tavalla kuin savi, koska turve ei häiriintyessään nesteydy. Siitä syystä stabilointisementin sekoittaminen turpeeseen on hankalaa ja vaatii taitoa tekijältä ja tehoja koneelta. Nykytekniikka jättää paljon stabiloijan ammattitaidon varaan. (SITO 2004b)

Seinäjoki-Oulu –palvelutason parantamisen suunnitteluperusteiden mukaan liikennöitävän raiteen alla stabilointia ei saa käyttää. Kyseeseen tulevat stabilointikohteet ovat lähinnä maapohjan vahvistaminen nykyisen raiteen viereen tehtävän vastapenkereen alla ja uuden ratapenkereen pohjan vahvistaminen stabiloimalla. Olemassa olevan ratapenkereen stabiliteettia parannettaessa stabilointi tulee suunnitella massastabilointina. Massastabilointi on mahdollista toteuttaa korkeintaan 5 metrin syvyyteen. (RHK 2005c)

Penkereen alle stabilointia on vaikea tehdä purkamatta pengertä, mikä on liikennöidyillä radalla erittäin hankalaa. Lujuudeltaan erittäin heikoissa kohteissa on uskaliaista korvata paalulaatta massastabiloinnilla. Stabilointia on lähinnä käytetty korvaamaan vastapenger tai erittäin heikolla maaperällä vastapenkereen. Stabilointia voidaan suositella turvealueille, joissa ei ole olemassa olevia rakenteita kuten vastapenkereitä. (Geomap 2005)

Pengerpaalutus

Juna- ja pengerkuorma siirretään paalujen kautta kantaville maakerroksille tai kalliolle. Kuormien siirtämiseksi paaluille on käytetty paaluhattuja ja paalulaattoja. Paaluilla perustettu ratapenger suunnitellaan ja rakennetaan siten, että sen painumat ja siirtymät oletetaan rakenteen kannalta merkityksettömiksi. Paalulaattarakenteet suunnitellaan 100 vuoden käyttöiälle. Paaluhatturakenteiden toimivuudessa ratarakenteessa on havaittu ongelmia eikä uusia paaluhattuja enää rakenneta joitakin erityistapauksia lukuun ottamatta. Paaluhattuja voidaan käyttää vielä esim. liityntärakenteissa jossa esim. uusi rata liittyy paaluhatturakenteeseen. (Suomalainen 2005, Kujala 2005)

Paalulaatta- ja paaluhatturakenteiden kustannuksiin vaikuttavat erityisesti paalupituus ja pengerkorkeus. Paalulaattarakenteet ovat melko kalliita, mutta toisaalta ne ovat yleensä erittäin varmoja ja turvallisia rakennusmenetelmiä. Paalutuksessa on otettava huomioon mm. maakerroksen kivisyys tai lohkaraisuus, kalteva kallionpinta, ja paalutuskaluston liikkumismahdollisuudet kohteessa. (Tiehallinto 2001a)

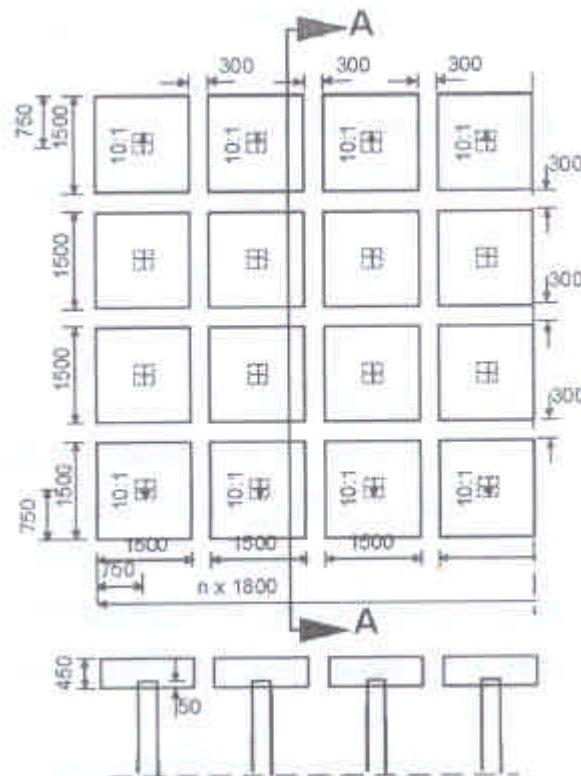
Paalulaatat ovat joko paikalla valettavia tai elementeistä tehtyjä rakenteita, joiden yläpinnan korkeusasema on yleensä vähintään kv -1,4 m . Elementtilaatat soveltuvat paikalla valettavia laattoja paremmin liikenteen alaisille radoille, koska elementtilaatan paalutus- ja asennustyöt tehdään yleensä lyhyiden raidevarausten aikana. Paikalla valettava laatta edellyttää pidempää raidevarausta, joten se soveltuu parhaiten useampi-raiteisille tai uusille radoille sekä rataoikaisuille. (RHK 1999)

Käytetyt paalutyypit

Paalut jaetaan materiaalin perusteella puu-, betoni- ja teräspaaluhiin. Puuta käytettiin yleisesti paalumateriaalina aina 1980-luvulle saakka. Suurin osa puupaaluilla perustetuista penkereistä on paaluhattukohteita, mutta myös muutamia pengerlaattoja on perustettu puupaaluilla. Puupaalujen lahoaminen on ongelma, mikäli pohjavesi on alentunut. Puupaalut lahoavat, jos paalujen katkaisutaso sijaitsee pohjavedenpinnan yläpuolella. Suomessa korkealuokkaisissa rakenteissa alettiin yleisesti käyttää teräsbetonipaaluja 1960-luvulla. Tosin jo vuonna 1915-1916 Leppäkosken ratasiltaa rakennettaessa käytettiin ensimmäisen kerran rautabetonipaaluja (VR 1937). 1980-luvulta alkaen betonipaalut ovat olleet käytetyin paalutyyppi. Nykyään puupaalujen käyttö pysyvien rautatierakenteiden perustusrakenteissa ei ole enää sallittua. Porapaaluja käytetään hyvin kivisille tai herkkimmille maaperille, koska ohuet porapaalut syrjäyttävät vähiten maata. Teräsbetonipaaluja käytetään, jos paalujen katkeiluriski kivisyyden vuoksi on vähäinen ja maaperä ei ole kovin herkkää häiriintymiselle. (Collan 2005, RHK 1999, Kujala 2005, Mara 2000)

2.3 Paaluhatturakenteet

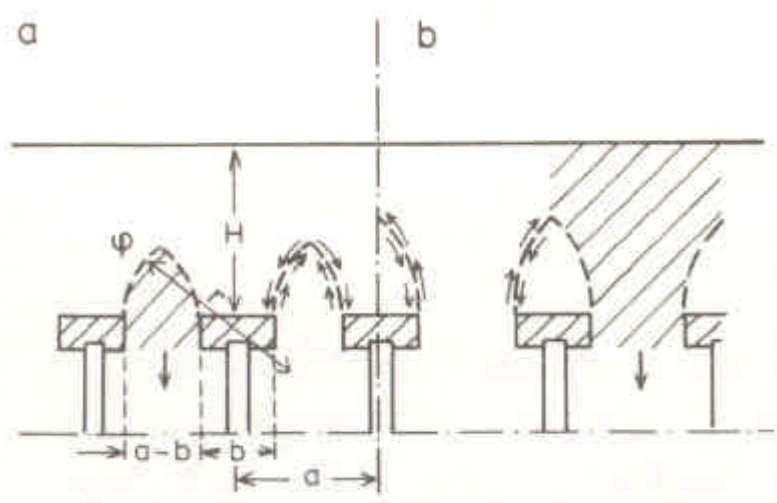
Paaluhatuilla tarkoitetaan paalujen yläpäihin asennettuja, teräsbetonista valmistettuja laattoja. Ne ovat yhteen paaluun tukeutuvia rakenteita, joilla kuormat siirretään paalujen avulla kantavaan maakerrokseen tai kallioon. Ryhmä paaluhattuja muodostaa paaluhattukentän. Kuvassa 2.2 on esitetty paaluhatturakenteen periaatekuva.



Kuva 2.2. Paaluhatturakenteen periaatekuva. (RHK 1999)

Paaluhattut voivat olla joko tehdasvalmisteisia tai paikalla valettuja. Paaluhattujen välit täytetään soralla, joka tiivistetään. Tämän päälle tehdään radan päällysrakennekerrokset. 1990-luvun alussa aloitettiin suodatinkankaiden käyttö (Collan 2005). Hattujen päälle levitetään lujiteverkko ja suodatinkangas. Suodatinkangas asennetaan siten, että pengermateriaali ei pääse varisemaan paaluhattujen väliin. Paaluhatturakenteiden tyypillisiä käyttökohteita ovat kiinteät savikot, joissa pehmeän kerroksen leikkauslujuus on riittävän suuri estämään hattujen välissä olevan materiaalin valuminen sekä tukemaan paaluja ja paaluhattuja rakentamisvaiheessa ja sen jälkeen. Uusien julkisten ratahankkeiden osalta paaluhatturakenteiden käytöstä on luovuttu. (RHK 1999, Jääskeläinen & Rathmayer 1975, Tiehallinto 2001b)

Paaluhattujen holvaantuminen eli kuormituksen siirtyminen paaluhatuilla on tärkeä tekijä paaluhattujen toimivuudessa. Jos pengeri ei holvaudu, pengermateriaali valuu hattujen välistä aiheuttaen painumista. Penkereen huono holvautuminen johtuu ensisijaisesti liian suurten hatturakojen käytöstä. Todennäköisesti maapohja hattujen välissä painuu enemmän kuin paalut ja paaluhatut. Jos paaluhatut ovat riittävän suurikokoisia, välittyy pengerkuorma kuvan 2.3 a-kohdan mukaisesti paaluhatuille ja edelleen paaluille. Jos paaluhatut ovat liian pieniä verrattuna paaluväliin ja pengerkorkeuteen, hattujen yläpuolinen maa pääsee valumaan alas paaluhattujen välistä b-kohdan mukaisesti. Holvaantumista voidaan parantaa käyttämällä lujitteita paaluhattujen päällä. Lujitteita kuten lujiteverkkoa käyttämällä saavutettavia etuja ovat pienemmät paaluhattujen koot ja suurempi hattujen rakoväli. (Jääskeläinen & Rathmayer 1975, Kujala 2005, Mara 2000)



Kuva 2.3. Paaluhattujen toimintatapa tarkasteltuna murtotilan mukaan kun liukupinnat otaksutaan kaareviksi. (Jääskeläinen & Rathmayer 1975)

Käytännön kokemukset paaluhatuista ovat osoittautuneet huonoiksi. Karkeasti yleistäen voidaan sanoa, että paaluhatturakenne on onnistunut vain pengerkorkeuden ollessa vähintään 2,5 metriä. Nykyään paaluhattuja käytetään ensisijaisesti ainoastaan hitaasti liikennöitävillä teollisuusraiteilla tai ratapihoilla. Holvaus hattujen välillä toimii huonosti rautatierakenteissa, koska kuormitus on dynaaminen. Lisäksi paaluhattujen yläpuolisen maan läpi virtaa vettä ja maa altistuu toistuvasti jäätymiselle ja sulamiselle. Vanhoissa paaluhatturakenteissa paaluhattujen päälle ei välttämättä ole rakennettu kunnollista välikerrosta, joka parantaisi penkereen holvautumista ja ehkäisisi pengermateriaalin valumisen paaluhattujen välistä pohjamaahan. Paaluhatturakenne on epäonnistunut myös

joissain sellaisissa kohteissa, joissa maapohja on erityisen pehmeää tai maaperä on koonpuristunut pohjaveden alentumisen johdosta. Nykykäsityksen mukaan paalulaatta on ainoa oikea ratkaisu vaativiin kohteisiin. Paaluhatturakenne on epäonnistunut erityisesti, jos maaperä on turvetta, liejua tai hyvin pehmeää savea. Paaluhatut ovat saattaneet alkaa kallistella jo työn aikana. Paaluhattujen kallistelua on saattanut lisätä betonipaalujen katkaisutapa, jossa laikalla leikataan vain paalun nurkkaterästen kohdat ja paalu lyödään poikki, jolloin paalun keskelle voi jäädä kohouma. 1970-luvulla käytetyn suunnitteluohjeen (VR 1976) mukaan paalun pää tuli tasoittaa laastilla, mutta laastin kestävyyttä on syytä epäillä. Monissa vanhoissa rakenteissa paaluhattujen peittävyys on nykykäsityksen mukaan liian pieni. Paaluhatturakenne on kuitenkin suhteellisen yksinkertainen mitoittaa ja edullinen toteuttaa, joten sitä on käytetty melko runsaasti. (RHK 1999, Tiehallinto 2001b, Tuomaala 1989, Matela 2005a)

2.4 Paalulaattatyypit

2.4.1 Yleistä

Paalulaattatyypin valintaan vaikuttavat kustannukset, laatan muoto, alustäytön vaikeus, laatan muotitustarve sekä mahdollinen varautuminen paalujen epätasaisiin painumiin. Ratahankkeista suurin osa on nykyään olemassa olevan radan korjaamista tai parantamista, joten paalulaattatyypin valintaan vaikuttavat yhä enemmän laatan rakennusaika sekä sen sovittaminen raidevarauksiin. Liikennehaittakustannusten osuus on huomattava. Paalulaatat jaetaan paikalla valettaviin laattoihin ja elementtilaattoihin. Elementtilaatat ovat nopeampia rakentaa ja niiden käyttö on yleistymässä. (Tiehallinto 2001b, Kujala 2005)

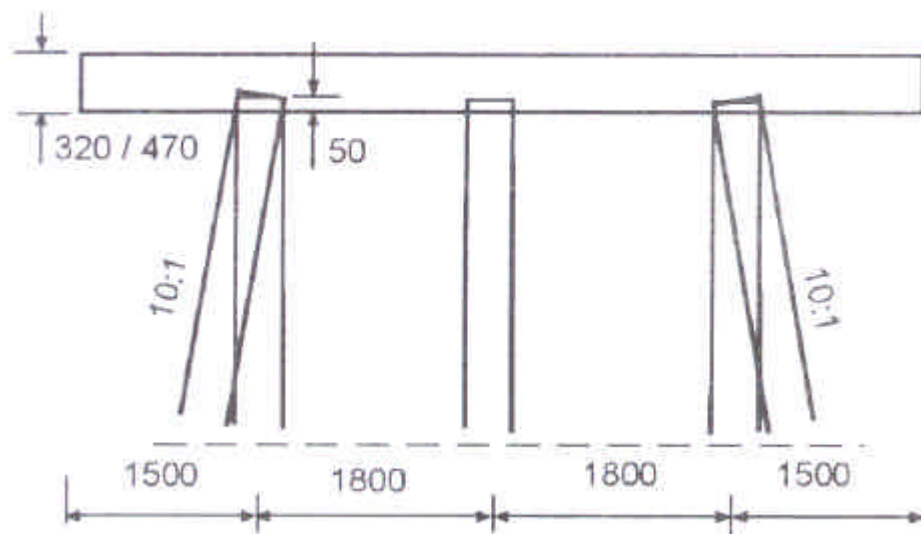
2.4.2 Paikalla valettavat paalulaatat

Paikalla valettavat paalulaatat ovat jatkuvia laattoja. Tyyppiratkaisuja ovat tasapaksu laatta, leikkausraudoitettu tasapaksu laatta, sienilaatta ja palkkilaatta. (RHK 1999)

Tasapaksu laatta

Tasapaksu laatta on laattatyypeistä helpoin ja nopein rakentaa. Tasapaksu laatta voi olla leikkausraudoitettu tai leikkausraudoittamaton. Laatan paksuus riippuu laatan raudoituksesta. Tasapaksu laatta on massiivisempi kuin sieni- tai palkkilaatta, jonka vuoksi

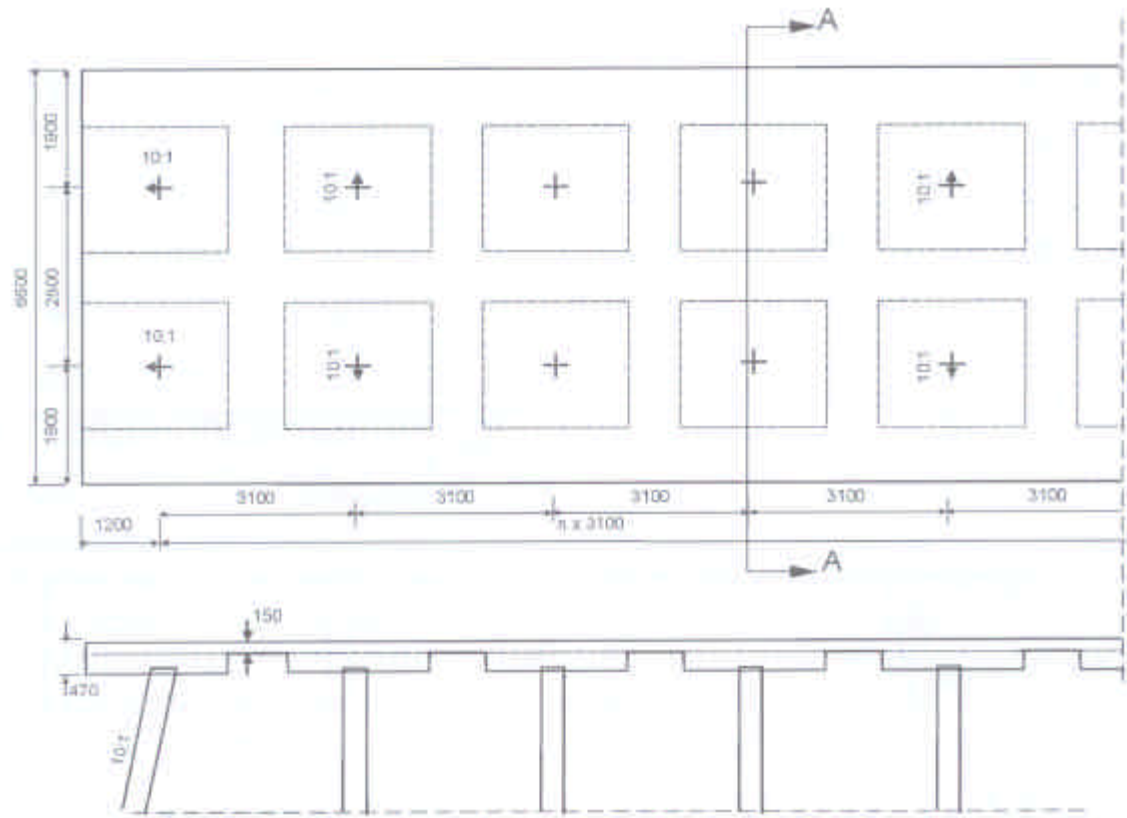
materiaalikustannukset ovat suuremmat. Tosin laatan kovettuminen vaatii pitkän raidevarausajan. Lyhyehköihin (noin 2 vrk) raidevarauksiin soveltuu paikallavaletuista laatoista parhaiten tasapaksu leikkausraudoittamaton laatta, jossa laatan massiivisuus aiheuttaa betonin hydrataatiolämpötilan nousua ja nopeuttaa betonin kovettumista (Matela 2005a). Periaatekuva tasapaksusta laatasta on esitetty kuvassa 2.4. (RHK 1999, Kujala 2005)



Kuva 2.4. Tasapaksun laatan periaatekuva. (RHK 1999)

Sienilaatta

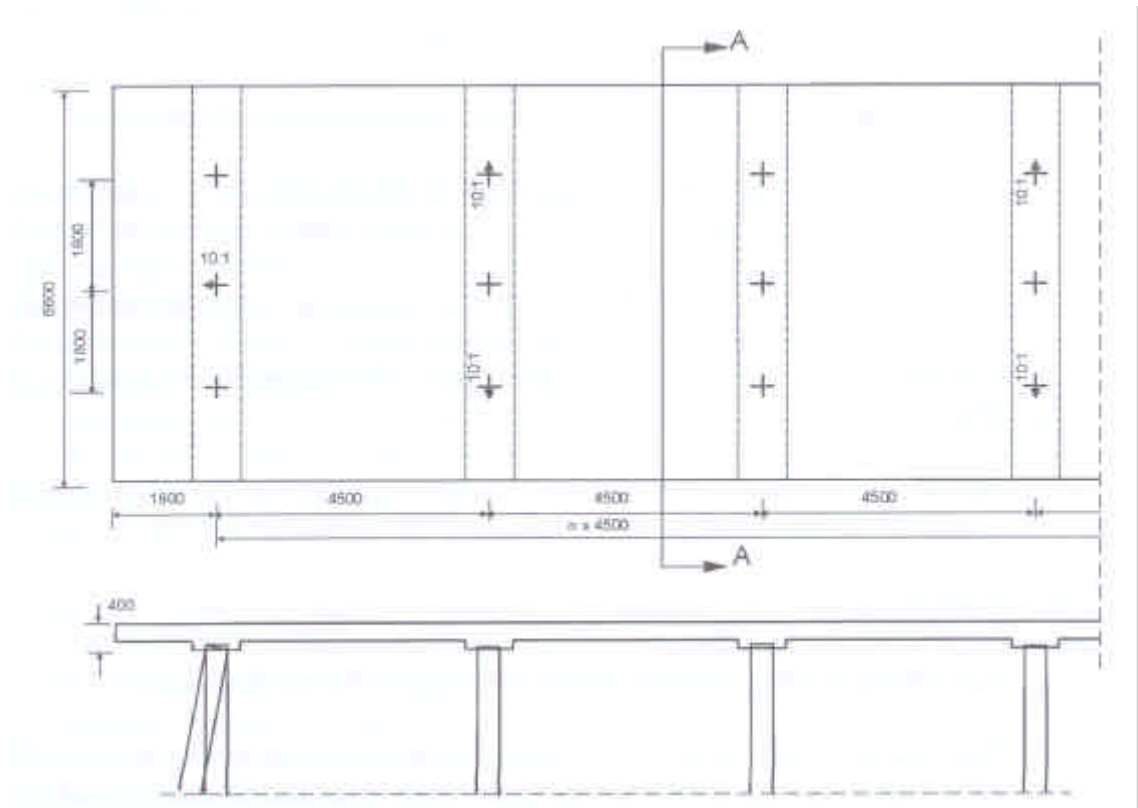
Sienilaatta on Suomessa yleisimmin käytetty paalulaattatyyppeä. Laatan paksuus valitaan useimmiten paalun läpileikkautumisen mukaan. Sienilaatan rakentaminen on työläämpää kuin tasapaksun laatan rakentaminen, koska sieniosa on muotoiltava valua varten erikseen. Sienilaatan muoto on rakenteellisesti tasapaksua laattaa edullisempi, koska betonin menekki on pienempi. Sienilaatta on kevyempi ja rasittaa valettaessa maaperää vähemmän. Rakentamisen aikana on pidettävä huolta, että laatan kohdalle ei tuoda liian paljon täyttömateriaalia, josta aiheutuu lisäkuormaa maaperään. Sieniosa on useimmiten raudoittamaton. Periaate sienilaatasta on esitetty kuvassa 2.5. Sieniosan ja laatan tulee toimia yhtenäisenä rakenteena, joten sieniosa ja laatta on ehdottomasti valettava samalla valukerralla. Jos niiden väliin jää suunnittelematon työsauma, ne toimivat erillään. Tällöin rakenteen kapasiteetti alenee merkittävästi ja raudoittamattoman sienien tapauksessa seuraukset ovat vakavia (Ermanninsuon vaurio, katso kohta 6.2, sivu 64). (RHK 1999, Kujala 2005)



Kuva 2.5. Sienilaatan periaatekuva. (RHK 1999)

Palkkilaatta

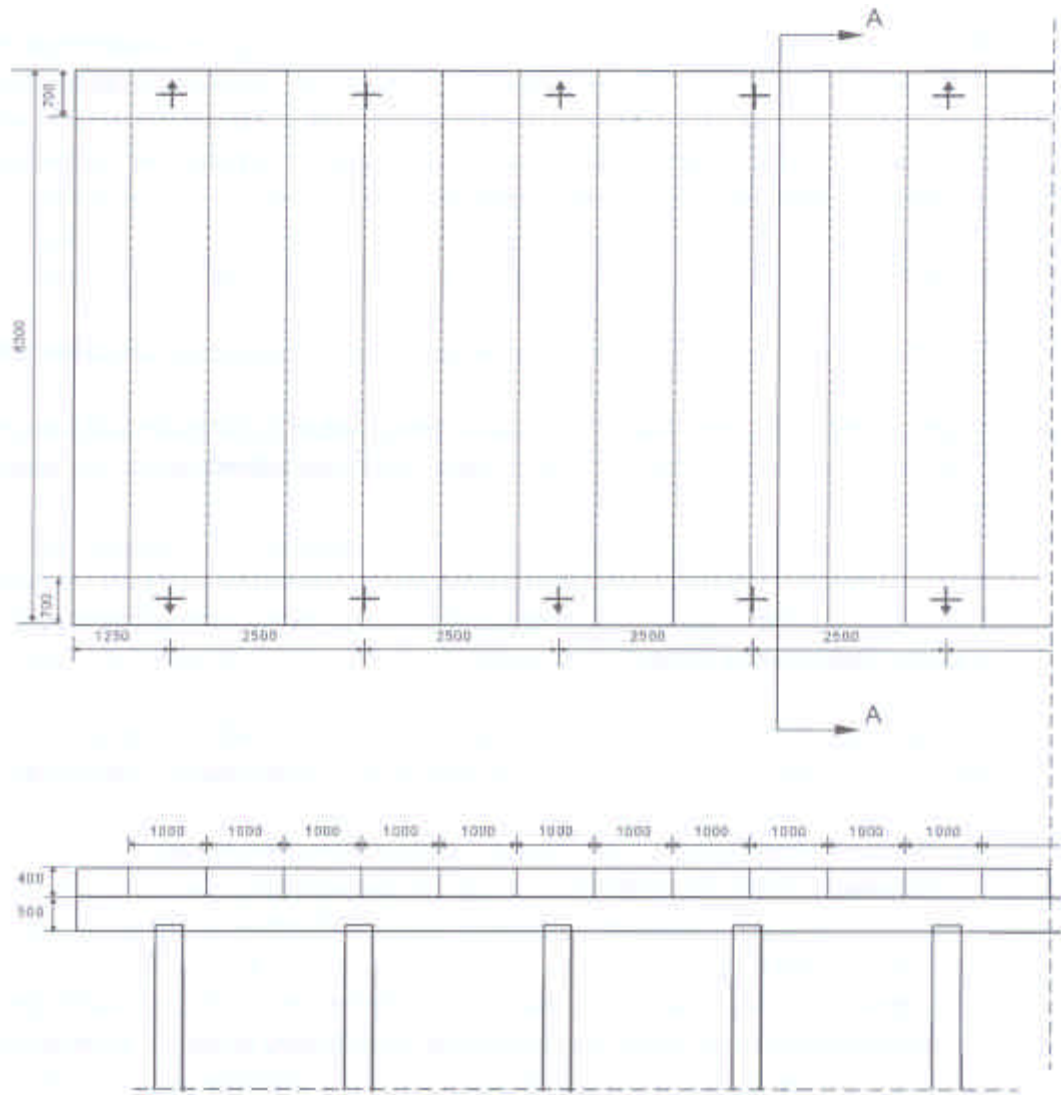
Palkkilaatasta rakennetaan ensin raudoitetut palkkikaistat. Palkkikaistat voidaan rakentaa joko muottien avulla tai muotoilemalla palkkiosa työalustaan. Tämän jälkeen valetaan rakenne paikallavaluna. Palkkikaista on ehdottomasti valettava samanaikaisesti ylälaatan kanssa liittorakenteena toimimisen vuoksi. Rakenne on siltamainen ja se on nopea rakentaa. Kuvassa 2.6 on esitetty periaatekuva palkkilaatasta.



Kuva 2.6. Palkkilaatan periaatekuva. (RHK 1999)

2.4.3 Elementtilaatat

1990-luvun alussa Karjaa-Turku -välille rakennettiin elementtilaatta siten, että raiteen molemmilla reunoilla paikalla valettujen pitkittäispalkkien varaan nosteltiin laattaelementit. Laattaelementit voidaan rakentaa joko työmaalla tai tehtaalla sisäolosuhteissa. Laattaelementtien välissä on 10 mm:n rako, ja ne kiinnitetään tartuntalenkeillä ja jälkivalulla pitkittäispalkkeihin. Pitkittäispalkin paalutus tehdään ATUn (aukean tilan ulottuma) ulkopuolelta. Kuvassa 2.7 on esitetty periaatekuva 1990-luvulla toteutetusta ns. Totto-laatasta. (RHK 1999)



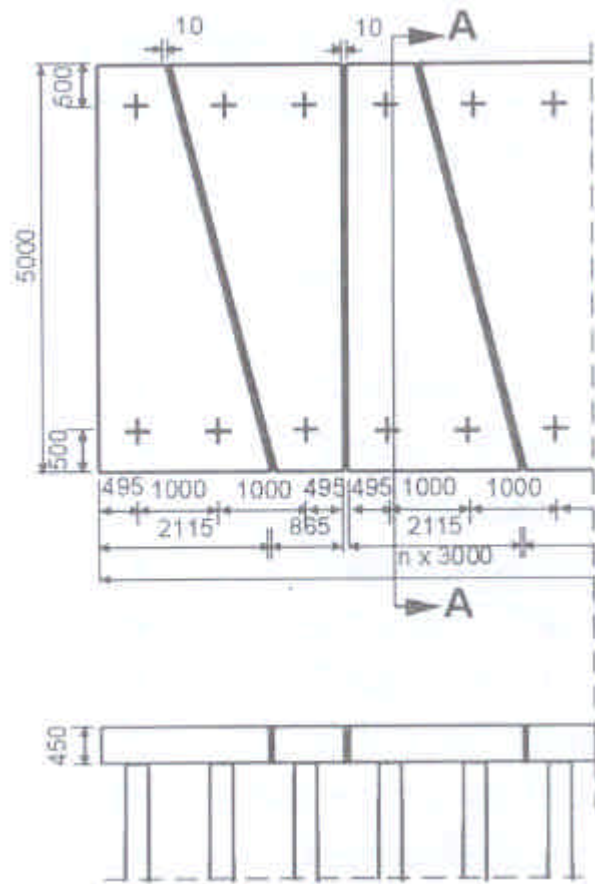
Kuva 2.7. Elementtilaatan periaatekuva. (RHK 1999)

Vuonna 2004 suunniteltiin tästä ns. Totto-laatasta muunnos, jossa pitkittäispalkit tukeutuvat putkipaaluihin (ϕ 508x12) teräsbetonipaalujen tai porapaalujen sijasta. Poikittaiset laatat ovat tartuntajänteisiä elementtejä, jotka tukeutuvat pitkittäispalkkeihin kloropreenisten kuorman keskityskorokkeiden välityksellä ja ankkurointitapeilla. Tätä tyyppiä on käytetty Ermanninsuolla vaurioituneen sienilaatan korvaamiseksi. Ermanninsuolla paalujen keskiöväli on 3 m/4,5 m tai tasaisesti 3,8 m. Pitkittäispalkkeja ei routasuojattu erikseen. Pitkittäispalkkien alle jätettiin tyhjättilaa, joka mahdollistaa maan routanousut. (Matela 2005a)

Kolmen paalun elementtilaatat

Kolmen paalun laatat ovat puolisuunnikkaan muotoisia elementtejä. Suunnikkaat asennetaan siten, että niistä muodostuu yhtenäinen elementtilaatta. Laatan välityksellä pen-

kereen kuormat siirretään paaluille. Elementit ladotaan paalujen päälle eikä niitä kiinnitetä paaluihin. Elementtitaatan yläpinnan tason tulee olla syvemmällä kuin $q_v - 1,4$ m, jolloin laattaa ei tarvitse mitoittaa väsytykselle. Vinopaalujen puuttumisen ja vaakavärähtelyriskin takia kolmen paalun elementtien käyttö tulisi rajoittua pienialaisiin paikallisiin kohteisiin. Kolmen paalun elementtitaatan periaate on esitetty kuvassa 2.8. Myös neljän paalun elementtitaattoja käytetään. (RHK 1999, RHK 2002a)



Kuva 2.8. Kolmen paalun elementtitaatan periaatekuva. (RHK 1999)

2.5 Paalulaattarakenteiden yleiset suunnitteluperusteet

2.5.1 Eri aikoina noudatetut suunnitteluperusteet yleisesti

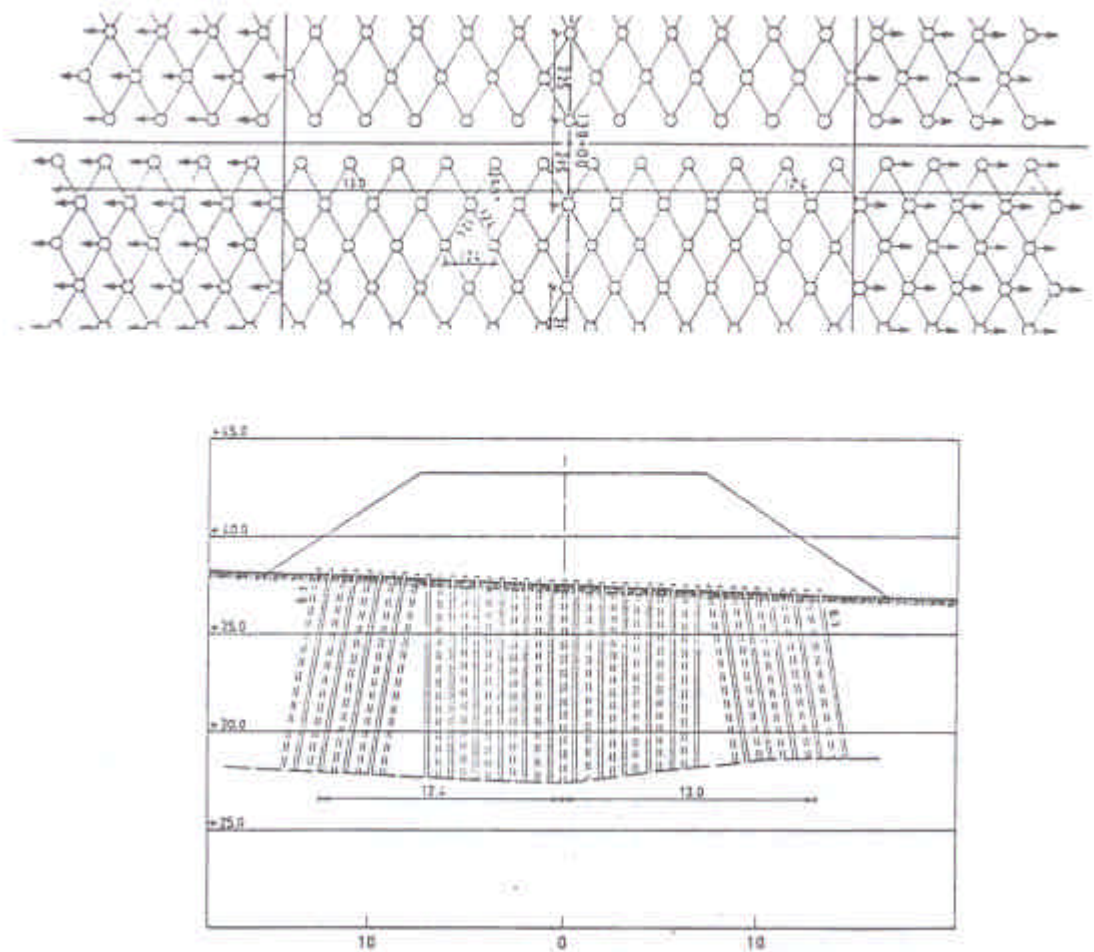
Pengerpaalutuksen suunnittelussa on noudatettu monenlaisia ohjeita. Nämä ohjeet koskevat ensisijaisesti tienrakentamista. (Tielaitos 1993, Mara 2000)

Ennen 1960-luvun alkua:

Mitoitus tehtiin liukupintamenetelmällä samalla tavoin kuin nykyään luiskapaalutuksissa. Puupaalut mitoitettiin yleensä vain jäännöskuormalle, jota maapohja ei itse pystynyt kantamaan. Tiepenkereen perustaminen paaluilla oli harvinaista, mutta siltojen tulopenkereissä sitä käytettiin yleisesti. Paaluhattuja ei vielä käytetty. Penger perustettiin yleisimmin suoraan paalujen varaan ja puuarinoita käytettiin täydentämään paalutusta.

1960-luvun alusta lähtien:

Pengerpaalutus tehtiin käyttäen puupaaluja ja betonisia paaluhattuja. Paalujen otaksuttiin ottavan vastaan koko pengerkuorman. Paalujen sallittuna geoteknisenä kantavuutena käytettiin aluksi 5 MPa, myöhemmin 8 MPa ja lopuksi 7.5 MPa. Erityisesti matalilla penkereillä käytettiin paaluhattuja, jotka ovat myöhemmin osoittautuneet liian pieniksi. Muutamia pengerpaalutuksia tehtiin louhepatjalla ilman hattuja (kuva 2.9).



Kuva 2.9 Esimerkki pengerpaalutuksesta 1960-luvulta. a)paalutuskaavio, b) penkereen poikkileikkaus. (Tielaitos 1993)

1970-luvun alku:

Paaluhattujen mitoitus tehtiin TVH:n julkaisun ”Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa IV, 1972” mukaan (TVH 1972). Hattujen rakoväli oli riippuvainen ainoastaan pengerkorkeudesta. Tämän takia etenkin pehmeillä maapohjilla käytettiin liian suurta rakoväliä.

1970-luvun puoliväli:

VTT:n paaluhattututkimuksen tulokset otettiin käyttöön (Jääskeläinen & Rathmayer 1975). Paaluhattujen mitoitus tehtiin peittoprosentin laskennan kautta. Peittoprosenttiajattelu paransi paaluhattujen mitoitusta, koska hattukoko suureni matalilla penkereillä. Nylundin lisensiaattityössä on tutkittu tie- ja ratapenkereessä käytettävien paaluhattujen käyttöalueita ja rakenteellista mitoitusta (Nylund 1978).

1980-luvun alku:

Puupaalujen lisäksi alettiin käyttää 250 x 250 mm² betonipaaluja. Paaluhattujen mitoituksessa alettiin käyttää rakovälitarkastelua.

1980-luvun loppu:

Paaluhattujen rinnalla alettiin käyttää tienrakentamisessa pengerlaattoja erityisesti matalilla penkereillä. Rautateillä pengerlaattoja ei vielä käytetty. Samalla alettiin käyttää 300 x 300 mm² betonipaaluja.

1990-luvun alku:

Pengerlaattojen käyttö yleistyi myös rautateillä. Valtion rautateiden rakennustoimisto teetti mitoitusohjeen SITO Oy:llä. Pengerlaattojen mitoitukseen rautateillä tehtiin ohje ”Pengerlaatat, Valtion Rautatiet ja Suomalainen Insinööritoimisto Oy, 1994” (VR & SITO 1994). Elementtilaattojen käyttö rautateillä aloitettiin rantaradan (Helsinki-Turku) perusparannustyön yhteydessä. (Roos 2005)

2.5.2 Suunnitteluperusteet erityisesti rautateillä

Paaluhattujen mitoituksessa rautateillä käytettiin vuodesta lähtien 1976 julkaisua ”Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys, RMYT” (VR 1976). Nykyinen ”Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset, RMYTL, osa 3, perustamis- ja vahvistamistyöt” (RHK 1999) ilmestyi vuonna 1999. ”Ratatekniset määräykset ja ohjeet, RAMO, osa 3, radan rakenne” (RHK 2002a) ilmestyi vuonna 2002. RAMOn edeltävissä painoksissa ei juurikaan käsitelty maarakentamista. (Suomalainen 2005)

Pengerpaalurakenteiden mitoituskuormana ennen vuotta 1994 käytettiin geoteknisessä jaostossa 120 kN/rd-m ja siltateknisessä jaostossa 133 kN/rd-m. Vuodesta 1994 lähtien sovellettiin julkaisua ”Pengerlaatat” (VR & SITO 1994), kunnes RAMO 3 ilmestyi vuonna 2002. RAMO 3:ssa on kerrottu nykyiset mitoitusperusteet. Kuormakaaviona käytetään nykyisin LM71 –muotoista kuormakaaviota. Ratakohtaisissa suunnitteluperusteissa on määrätty millä akselipainolla mitoitus suoritetaan. Paalulaatat mitoitetaan yleensä 30 tonnin akselipainolle (esim. Kerava-Lahti-oikorata). Jos laatan yläpinta on

ylempänä kuin kv-1,4 m, paalulaatta mitoitetaan väsytskuormitettuna rakenteena. (Roos 2005, Sinisalo 2005)

Oikorata Kerava-Lahti-projektin yhteydessä on laadittu ”Paalulaattojen suunnittelu- ja rakentamisohje” (RHK 2002b), josta löytyvät uusimmat suunnitteluperusteet paalulaattarakenteille rautateille. Myös Kujalan diplomityössä ”Paalulaattarakenteiden suunnittelu” (Kujala 2005) on esitetty kattavasti paalulaatan suunnittelua

3 SIENILAATTARAKENTEET

3.1 Yleistä

Kiinnostus sienilaattarakenteita kohtaan johtuu Ermanninsuon vaurioituneesta sienilaa-
tasta (esitely kappaleessa 6.2, s. 64). Vaurioituneen laatan löytymisen vuoksi on haluttu
selvittää vastaavien rakenteiden sijaintia muualla rataverkolla. Sienilaatta on monessa
tapauksessa valittu perustamisratkaisuksi, koska se on kevyt ja aiheuttaa maassa ko-
koonpuristumista mahdollisimman vähän. Valu kahdessa vaiheessa vähentää pohjamaan
koonpuristumista. Kuva 3.1 on Kerava-Lahti-oikoradan sienilaattatyömaalta.



Kuva 3.1. Sienilaattojen rakentamista Kerava-Lahti-oikoradalla. (Kuva: Ilkka Sinisalo)

3.2 Sienilaattarakenteiden sijainti

Sienilaattarakenteiden sijaintia on selvitetty pehmeikkökisterien, arkistojen ja haas-
tattelujen perusteella. Haastattelut ja muu taustatyö on esitetty liitteessä A (sivu 109).

Koska sienilaatan rakentaminen vaatii pitkän raidevarauksen, voidaan olettaa, että sienilaattoja ei ole rakennettu liikenteen alaisille raiteille. Tutkimuksessa on oletettu, että sienilaattoja on rakennettu lähinnä uusille rataosille kuten oikaisuille ja useampiraiteisille rataosille. Tietoa oikaisuista on saatu geometriasuunnittelijoilta ja suunnitelmista. Suomen rataverkolta tämän selvitystyön yhteydessä löydetty sienilaattarakenteet on esitetty taulukossa 3.1.

Taulukko 3.1. Selvityksen yhteydessä löydetty sienilaattarakenteet Suomen rataverkolla.

Rataosa (raisu-tunnus)	Kohde	Kilometri- väli	Suunnitte- luvuosi	Huom.
Toijala-Turku (002)	Ermanninsuon oikaisu	~180+500- 183+300	1993-1994	Korvattu elementtilaataalla
Helsinki-Tampere (003)	Hinkan oikaisu	~155+200- 156+500	1990-1991	
Helsinki-Turku (001)	Halikon oikaisu	~146-148	1993	
Helsinki-Turku (001)	Leppävaaran seutu	~10	1999	Luettelo sienilaa- toista liitteessä B (sivu 115).
Kerava-Lahti (007)	Oikorata, Kerava-Lahti	~30-94	2003	Luettelo sienilaa- toista liitteessä B.

Tulokset perustuvat arkistoista löydettyihin suunnitelmiin. Paikkakohtaisten paalulaattojen rakennepiirustukset ovat VR-Radan siltaryhmän arkistossa. Arkistotieto voi olla virheellistä, mikäli työmaalla mahdollisesti tehtyjä muutoksia ei ole arkistoitu. Vanhoista työmaapöytäkirjoista voi löytyä tarkempaa tietoa laattatyypeistä. Työmaapöytäkirjoja ei tämän työn yhteydessä ole käyty läpi. (Collan 2005)

3.3 Pengerpaalurakenteiden ongelmien tunnistamismenettely

3.3.1 Yleistä radantarkastuksesta

Ratahallintokeskus johtaa ja ohjaa ratojen tarkastustoimintaa. Radan tarkastus tilataan radantarkastussopimuksilla palvelun toimittajilta. Ratojen tarkastuksen tärkein tehtävä on varmistaa liikenteen turvallisuus ja radan käytettävyys. Tarkastuksen lähtökohtana on turvallisuuden lisäksi huolto- ja kunnossapitotarve. Tavoitteena on, että radalle saadaan oikeiden ja oikein ajoitettujen toimenpiteiden ansiosta riittävä elinikä. (RHK 2004a)

Ratahallintokeskus määrittää ratojen kunnossapitotason ja radan kunnossapitotaso määrittää radan tarkastusmenetelmät ja tarkastustarpeet. Rataosan kunnossapitotaso määräytyy radan liikenteellisten tarpeiden, päällysrakenteen ja maksiminopeuden perusteella. Tarkastuskohteet ja –menetelmät vaihtelevat kunnossapitotasoin. Samalla kunnossapitotasollakin saattaa esiintyä eroja tarkastuksen toteuttamisessa. Eri kunnossapitotasoin on määritelty kuinka usein ja millä menetelmillä rata on tarkastettava. Esimerkiksi korkeimmalla kunnossapitotasolla 1AA tarkastusvaunumittaus suoritetaan vähintään 3 kk välein, tarkastus liikkuvasta kalustosta kuusi kertaa vuodessa tarkastusvaunuajojen puo-
livalisissä, kävelytarkastus 2-3 kertaa vuodessa ja vaihdetarkastus neljä kertaa vuodessa. (RHK 2004a)

Radan tarkastusmenetelmät jaetaan tarkastusmittauksiin ja tarkastuskatselmuksiin. Tarkastusmittauksia ovat tarkastusvaunumittaus, kiihtyvyyssmittaus, raidevoimamittaus, ATUn mittaus, jatkosrakojen tarkastusmittaus, kisko-
jen ultraäänitarkastus, vaihteiden tarkastus, ratakisko-
jen kuluneisuusmittaus, ratakisko-
jen kulkupinnan mittaus, käsinmit-
taus sekä siltamaisten rakenteiden erikoistarkastukset. Tarkastuskatselmuksia ovat radan kävelytarkastus, turvalaitetarkastus, siltojen vuositarkastus, tarkastus liikkuvasta kalus-
tosta, ratakisko-
jen luokittelukatselmuksien, ratapihan tarkastus ja mahdolliset kunnossapi-
täjän tai Ratahallintokeskuksen määräämät erillistarkastukset. Suurin osa tarkastusme-
netelmistä koskee lähinnä päällysrakenteen kuntoa, kuten kiskoja jne. (RHK 2004a)

Mikäli paaluhatturakenne tai paalulaatta on vaurioitunut, sen havaitsee yleensä radan kunnossapitäjä. Pengerpaalurakenteen vaurioituminen näkyy yleensä radan painumisena ja lisääntyneenä kunnossapidon tarpeena kyseisellä rataosalla. Radan kunnossapitäjät raportoivat havainnoistaan säännöllisin väliajoin. Pengerpaalurakenteen rakenteelliset vauriot ja niiden syyt voidaan selvittää yksityiskohtaisesti vain tekemällä rakenteellinen erikoistarkastus laatan reunaosan tai laatan yläpinnan aukikaivun sekä laatan läpi tehtävien porausten tai aukisahausten avulla. Tällöin on mahdollista selvittää esim. toimiiko sienilaatan raudoittamaton sienipaksunnos monoliittisesti ylälaatan kanssa. Ilman aukaivua pengerpaalurakenteiden kuntoa voidaan arvioida kunnossapidon raportoinnin sekä raiteenmittausvaunu Emmen (kpl 3.3.3, s.32) ja maatutkaluotauksen tuloksista. (Suomalainen 2005, Matela 2005a)

3.3.2 Kunnossapidon raportointi

Kunnossapidon raportoinnin seuraaminen on yksinkertainen tapa, jolla saadaan tietoa radan kunnosta ja voidaan arvioida myös pengerpaalurakenteiden kuntoa. Radan kunnossapitäjiä ovat mm. tukemiskoneen kuljettajat, rakennusmestarit ja sepelöijät. Radan kunnossapitäjät seuraavat radan kuntoa päivittäin. Kunnossapitäjät tuntevat myös esim. painuma-alueet, joihin tukikerrosta tulee lisätä normaalia enemmän. Kunnossapito henkilöstöltä saadaan tietoa radan ongelmakohdista painumien lisäksi myös roudan, maa- ja kallioleikkausten sekä kuivatuksen osalta. Kunnossapitäjät raportoivat työstään säännöllisin väliajoin. (Suomalainen 2005)

Mikäli vauriot havaitaan normaalin kunnossapidon yhteydessä, ovat ne todennäköisesti jo pitkälle edenneitä ja vakavia. Toivottavaa on, että vauriot havaitaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Myös rata-ajoneuvojen kuljettajat raportoivat vaurioista. Tässäkin tapauksessa vaurio on pitkälle edennyt, jos se on nähtävissä esim. veturista. Tässä tapauksessa vaurio vaatii usein välittömiä ja nopeita korjaustoimenpiteitä. Tavoitteena on, että vauriot havaitaan ja korjataan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. (Suomalainen 2005)

Kunnossapitoraporttien käyttö pengerlaattarakenteiden kunnon tutkimisessa

Kunnossapidon raportoinnissa ilmenneitä ongelmakohtia verrataan pehmeikkörekisteriin ja pengerlaattarakenteiden sijaintitietoon.

3.3.3 Tarkastusvaunumittaus

Teoriaa

Tarkastusvaunumittaus on koneellista raiteen tarkastusta, jolla seurataan radan geometristä kuntoa ja sähköradan ajolangan suhteellista asemaa raiteeseen nähden. Mittauksella tarkastetaan, että raiteen asennolle asetetut laatuvaatimukset on täytetty. Mitattavat suureet raidegeometriassa ovat raideleveys, kallistus, korkeuspoikkeama, kierous ja nuolikorkeus. Ajolangan asemaa raiteeseen nähden tarkastettaessa suureet ovat langan siksak, korkeus ja pituuskaltevuus. Tarkastusten tuloksia käytetään erityisesti turvallisuuden varmistamiseen sekä raiteen kunnossapidon ohjelmointiin ja ratatöiden vastaanototarkastuksiin. (RHK 2004a)

Virheluokkia on kolme: C-, D-, ja *-luokka. C-luokan virhe tarkoittaa alkavaa virhettä, D-luokan virhe on korjattava lähitulevaisuudessa ja *-luokan virhe on korjattava pikaisesti. *-luokan virhe on käytävä toteamassa paikan päällä mittauksen jälkeen ja kyseiselle rataosalle on määritettävä mahdollinen nopeusrajoitus korjausajankohtaan asti. Ratakilometrin arvostelu tehdään kilometrikohtaisesti kullekin kilometrille. Arvostelu tehdään kilometrin virhepistemäärän perusteella. Kilometrin virhepistemäärä saadaan laskemalla yhteen kyseisellä kilometrillä esiintyvien D-luokan virheiden pituuksien metrimäärät. Päälysrakenteen geometrista kuntoa kuvataan kuntoindeksillä, jota kutsutaan geometrisen kunnan palvelutasoksi (GKPT). GKPT:n maksimiarvo on 100%. (Koskinen 2005, RHK 2004a)

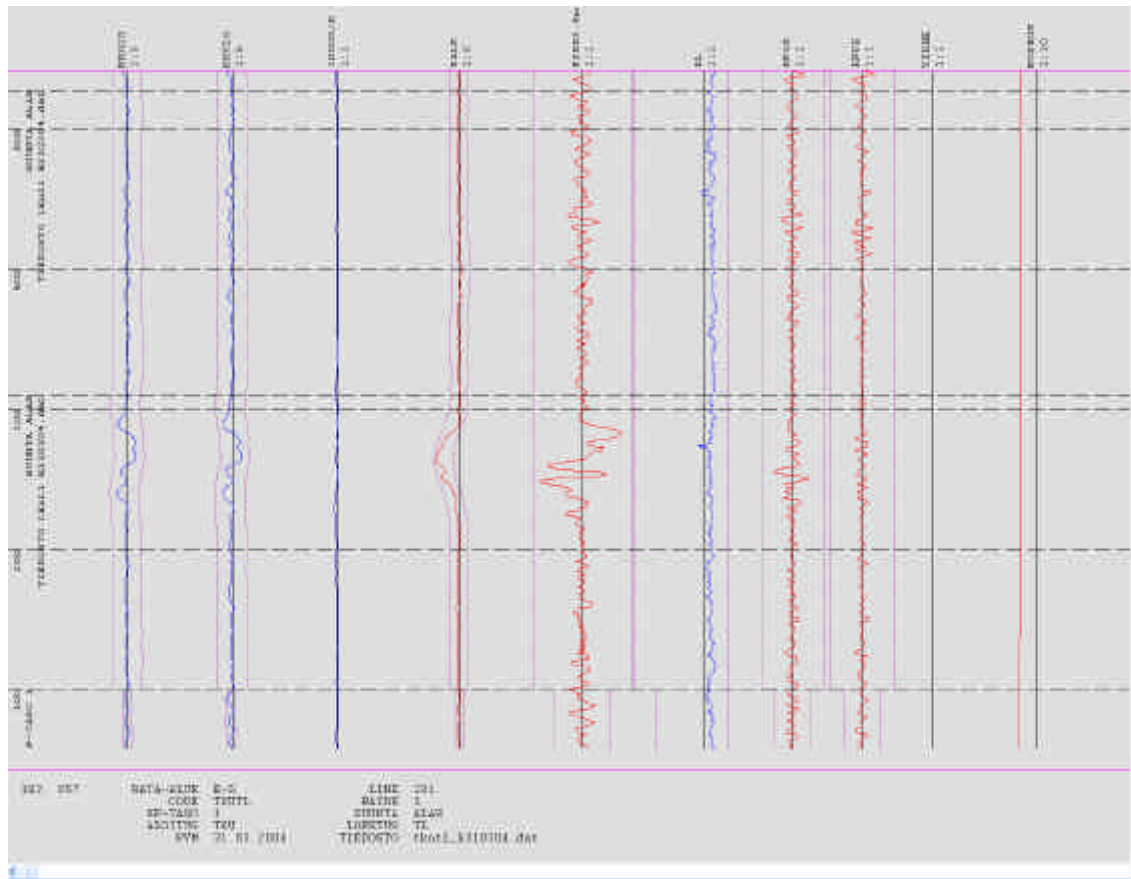
Radantarkastusvaunumittaus aloitettiin Suomessa vuonna 1981. Tämän hetkinen radantarkastusvaunu ”Emma” eli Ttr1 51 (Kuva 3.1) on hankittu Oy VR-Rata Ab:lle vuonna 2003. Tarkastusvaunumittauksella saadaan tietoa radan kunnosta, joka kootaan raporttimuotoon. Tarkastusvaunumittauksen mittaustietoa voidaan käsitellä halutulla tavalla ja mittaustiedosta voidaan tuottaa vakioraporttien lisäksi erilaisia yksilöllisiä raportteja. Vakioraporteissa on nähtävissä tarkastuskäyrä, virhelistaus, kilometriyhteen veto, kokonaisyhteen veto ja vaihdeyhteen veto. (RHK 2005b, Koskinen 2005)



Kuva 3.1. Raiteentarkastusvaunu Emma. (Kuva: Kari Koskinen)

Raiteenmittausvaunun käyttö pengerialtarakenteiden kunnan tutkimisessa

Kuvassa 3.2 on esitetty tarkastusvaunumittaustulos Ermanninsuolta keväältä 2004. Vaurioitunut sienilaatta sijaitsee Km 180+500- Km 183+300. Kuvassa on esitetty kilometri-väli 182+100 – 182+500, jolla sijaitsee kahden paalurivin sienilaatta.



Kuva 3.2. Tarkastusvaunumittaustulos Ermanninsuolta keväällä 2004.

Kuvasta 3.2 nähdään, että poikkeamia on erityisesti Km 182+250 – 182+300 nuolikorkeudessa (NKO20), kallistuksessa (KALS) ja kieroudessa (KIER3,5). Tulosten tulkinta on haastavaa ja vaatii ammattitaitoa. Tarkastusvaunumittausten tulkinta perustuu aikasarjoihin. Tutkitulta rataosalta on oltava mittaustietoa pitkältä aikaväliltä, johon yksittäistä ajotulosta verrataan. Tarkastusvaunumittaustuloksista saadaan enemmän tietoa, kun kyseiseltä rataosalta on olemassa muutakin pohjatietoa, kuten historia- ja rakennetietoa. (Koskinen 2005, RHK 2005b)

Pengerlaattojen sijaintia ei voida määrittää pelkästään raiteenmittaustulosten perusteella. Raiteenmittaustuloksia voidaan käyttää muiden tietojen apuna selvittäessä pengerlaattakohteiden sijaintia. Mikäli pengerlaattarakenteen sijainti on selvillä, voidaan rakenteen toimivuutta ja eheyttä arvioida keräämällä mittaustuloksia pitkältä ajanjaksolta. Tällöin voidaan arvioida, onko muutoksia kyseisellä rataosalla tapahtunut. (Koskinen 2005)

3.3.4 Maatutkaus

Teoriaa

Rakennekerrosten paksuudet ja tietoa kerrosten ominaisuuksista saadaan maatutkamittauksella. Maatutkamenetelmissä (Ground Penetration Radar, GPR) maahan lähetetään korkeataajuisia sähkömagneettista signaalia, jonka heijastumista maaperästä seurataan vastaanottimella. Radioaallon etenemiseen maaperässä vaikuttavat sähkönjohtavuus, väliaineen dielektriset ominaisuudet (permittiivisyys) ja aallon taajuus. Tutkamittauksen erotus- ja luokituskyvyn kannalta on tärkeää käyttää oikeaa aallonpituutta. Vesipitoisuuden muutos tai esim. routaantuminen muuttaa väliaineen dielektrisiä ominaisuuksia, joten maahan muodostuu heijastava rajapinta sellaisiin kohtiin, joissa vesipitoisuuden muutokset ovat suuria. (Peltoniemi 1988)

Käytännössä ominaisvastuksen ja permittiivisyyden muutokset kivilajeissa, mineraaleissa ja kallioperän rako- ja ruhjevyyhyhykkeissä liittyvät toisiinsa. Hyvin sähköä johtavia materiaaleja, kuten savea, tutka-aalto ei pysty läpäisemään lainkaan, mikä asettaa rajoituksia menetelmän käytölle. Esim. tierakenteessa heijastumisen muutoksia aiheuttavat pääasiassa kerrosten materiaalivehtelut sekä kosteus- ja tiiviyserot. Tierakenteessa materiaalien kerrosrajojen lisäksi voidaan erottaa mm. rakentamisen aikana syntyneitä tiivistyksen rajapintoja, rakenteiden kosteuseroja tai –muutoksia, rumpuputkia, lohcareita sekä tiehen asennettuja teräsverkkoja tai muita vieraita esineitä. Tietoa saadaan kuitenkin vain mittauslinjalta eli suhteellisen kapealta alueelta. (Peltoniemi 1988, VTT 2001)

Maatutkalaitteisto koostuu radiolähtimestä ja vastaanottimesta, jotka on yhdistetty maatutka-antenniin. Antennin kautta maaperään lähetetään sähkömagneettinen pulssi, jonka energiaa tutkitaan. Osa pulssin energiasta heijastuu materiaalien rajapinnoilta, osa etenee rajapinnan läpi ja osa heijastuu seuraavilta rajapinnoilta. Heijastuksen aiheuttavia rajapintoja ovat yleensä eri rakennemateriaalien rajapinnat sekä kosteuserot pohjamaassa. Tutkakuva eli jatkuva luotausprofiili tutkittavasta rakenteesta saadaan, kun mittauksia tehdään nopeassa tahdissa peräkkäisissä pisteissä. Maatutkaprofiilista voidaan tulkita mm. rakenteiden paksuuksia. Signaalin voimakkuus heikkenee kulkuajan funktiona geometrisen vaimennuksen, signaalin sironnan, heijastusten ja lämpöhäviöiden takia. Signaali vaimenee myös hienoainespitoisuuden lisääntyessä, kun sen sähkönjohtavuus kasvaa. (Silvast 2005)

Maatutkaus soveltuu olemassa olevan rautatiepenkereen rakennekerrosrajojen määrittämiseen. Se on nopea ja taloudellinen tapa saada jatkuva pituusprofiili tierakenteesta. Käyttämällä eritaajuisia antennejä voidaan luotaussyvyyteen ja –tarkkuuteen vaikuttaa. Maatutkatulosten rinnalla on käytettävä esimerkiksi kairauksin saatua referenssiaineistoa, johon maatutkatuloksia verrataan. Tuloksin tarkkuus riippuu referenssiaineiston määrästä ja laadusta. Maatutkaluotauksen merkittävä etu on se, että tulokseksi saadaan jatkuva profiili josta nähdään, missä kohtaa pohjamaassa on muusta rakenteesta poikkeavia kohtia. (VTT 2001)

Käyttö pengerlaattarakenteiden tutkimisessa

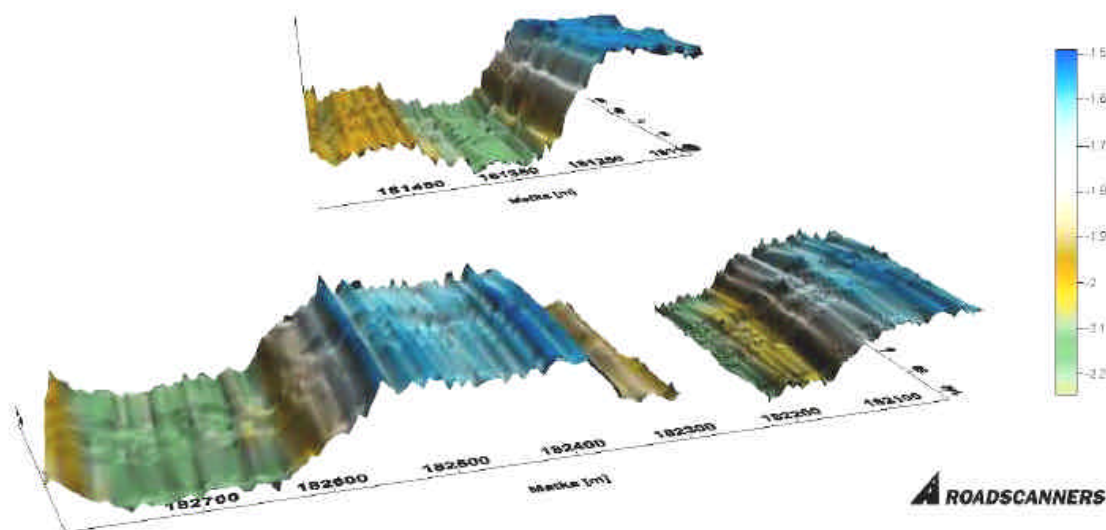
Maatutkaluotaus on uusi menetelmä radan kunnan tarkkailussa. Yleensä maatutkalaitteistona on käytetty yksikanavaista laitteistoa. Ermanninsuon paalulaattaa tutkittaessa on kokeiltu kolmiulotteista maatutkalaitteistoa, joka koostuu 27 antenniparista, joilla lähetetään vuorotellen signaali ratarakenteisiin ja mitataan heijastuneet taajuudet. Kolmiulotteisella maatutkauksella saadaan selville radan poikkileikkausrakennetta, ainakin laatan yläpinta. (Silvast 2005)

Maatutkasignaali heijastuu paalulaatan pinnasta sekä laatan raudoituksesta. Kolmiulotteisista mittaustuloksista voidaan muodostaa kolmiulotteinen malli ratarakenteista ja mahdollisista vauriokohdista. Mallin perusteella voidaan tulkita paalulaatan pinnan taso ja tutkia mahdollisia vaurioita laatasta. Kolmiulotteisen maatutkaluotauksen tuloksia voidaan tarkastella yksittäisinä profiileina, tasokarttoina tai sama-arvokarttoina, joiden perusteella voidaan analysoida rakenteiden kuntoa ja mahdollisten vaurioiden sijaintia. (Silvast 2005)

Esimerkki Ermanninsuolta

Ermanninsuolla kokeiltiin kolmiulotteista maatutkausta keväällä 2005. Kolmiulotteisen maatutkaluotauksen tulokseen on käytetty 10 kanavan aineistoa. Jokaisen kanavan tutkaprofiilista on tulkittu laatan pinta ja laskettu sen syvyys. Tämän jälkeen on laskettu pintamalli (kuva 3.3). Tuloksista on nähtävissä paalulaatan syvyyden muutokset. Paalulaatan syvyyksien muutosten perusteella voidaan arvioida mahdollisia painumia ja näin ollen vaurioituneita kohteita. Nämä vauriokohdat näkyvät sama-arvokartassa jyrkinä syvyyden muutoksina. Ermanninsuon tapauksessa ongelmaksi muodostui se, että

paalulaatan leveys on 6,6 metriä kun taas tutkimittaus on tehty 2,4 metrin leveydeltä laatan keskeltä. Näin ollen laatan reunaosista ei saatu tietoa. Tästä huolimatta tulkinnoissa havaittiin mahdollisia vaurioita laatan pohjoisreunalla. (Silvast 2005)



Kuva 3.3 3D-maatutka-aineistosta koostettu pintamalli paalulaattojen pinnan tasosta Ermanninsuolla. (Silvast 2005)

Käyttö pengerlaattarakenteiden ongelmien tutkimisessa

Kaksiulotteisella maatutkamenetelmällä saadaan selville ainoastaan pituusprofiili eli tietoa yhdestä valitusta pituusleikkauksesta. Kaksiulotteisen menetelmän tuloksista on periaatteessa mahdollista paikallistaa paalulaattojen sijainti. Paalulaattojen vaurioitumisen tutkimiseen sitä ei kuitenkaan voida käyttää.

Kolmiulotteisella maatutkamittauksella saadaan huomattavasti enemmän tietoa, mutta menetelmä on kallis. Kolmiulotteisella menetelmällä saadaan tietoa rakenteista sekä radan pituus- että poikkisuunnassa. Sen avulla voidaan periaatteessa paikantaa laatan sijainti, syvyys ja mahdolliset vauriokohdat. Menetelmä on uusi eikä käyttökokemuksia ole vielä paljoa. Kolmiulotteisella menetelmällä on periaatteessa mahdollista seurata vaurioiden vuosittaista sekä kausittaista kehitystä ja näin analysoida rakenteiden vaurioitumista. Tutkatulosten mukainen laatan yläpinta korreloi hyvin laatan suunnitellun sijainnin kanssa. Tutkatulosten perusteella havaittavat sijaintipoikkeamat ilmaisevat laatan mahdollisen vauriokohdan. (Silvast 2005)

3.4 Yleisimmät vaurion aiheuttajat pengerpaalurakenteille

3.4.1 Yleistä

Paaluhatturakenteissa on ilmennyt ongelmia rautatieympäristössä. Tierakenteissa paaluhatut ovat toimineet paremmin. Rautateillä ongelmia aiheuttavat mm. tieliikennettä voimakkaampi tärinä ja asfaltin puuttuminen. Rautatiepenkereessä sade- ja sulamisvedet valuvat pengerrakenteen läpi liikuttaen hienorakenteista penger materiaalia ja heikentäen paaluhattujen välistä holvautumista. Kuivakuorikerroksilla savikoilla paaluhatturakenteet ovat toimineet kohtuullisen hyvin. Sen sijaan eloperäisille alueille kuten soille rakennetut paaluhatut ovat toimineet huonommin. Paalulaatat ovat kestäviä rakenteita, joiden ongelmat johtuvat yleensä rakentamisvaiheissa tehdyistä työvirheistä. (Suomalainen 2005)

3.4.2 Ongelman aiheuttajia

Maan painuminen aiheuttaa erityisiä ongelmia paaluhatturakenteelle, koska maa-aines pääsee painumaan paaluhattujen välistä hattujen alle syntyneeseen tyhjätilaan. Tämän seurauksena raiteeseen syntyy painuma. Painuman arvioiminen vanhoille ratapenkeille on vaikeaa, koska kuormitushistoria ei ole tiedossa. Erityisesti epätasainen painuma aiheuttaa ongelmia. Rakenteiden painuman suuruuteen vaikuttavat perustusten eri osien suuret kuormituserot, kokoonpuristuvien maakerrosten kokoonpuristuvuusparametrien vaihtelu ja maakerrosten paksuuksien vaihtelu.

Perustusten alla olevan maapohjan kuormitustilanne saattaa muuttua ulkonaisesti näkyvämmien tekijöiden vaikutuksesta. Erityisesti pohjaveden aleneminen aiheuttaa tällaisen lisäkuormituksen. Tämä johtuu alentuneen pohjavedenpinnan yläpuolelle joutuneen maakerroksen tilavuuspainon kasvusta. Syntyneen lisäkuormituksen johdosta saattaa syntyä alempien maakerrosten kokoonpuristumista ja siten maapohjan ja perustusten painumista. (Rantamäki et al 1999)

Liian paksu täyttö maan kantokykyyn verrattuna

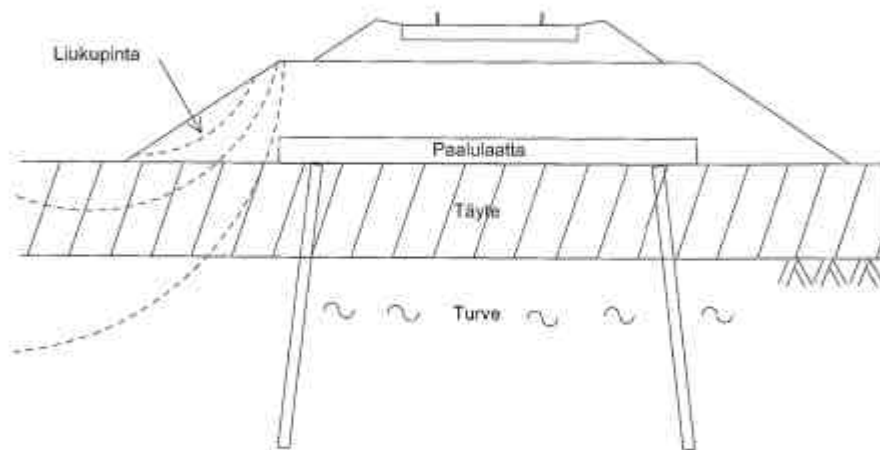
Mikäli rakennusvaiheessa työalustaksi tuodaan maan kantokykyyn verrattuna liian paksu täytemaakerros, saattaa täytemaan paino aiheuttaa painumia. Yleensä työalustan sallittu paksuus on noin 30 cm. (Suomalainen 2005)

Pohjaveden pinnan aleneminen

Pohjaveden pinnan aleneminen on ongelmana erityisesti alikulkusiltojen tulopenkereiden siirtymäläattarakenteissa. Alikulkusillan rakentamisen takia maata kaivetaan pois ja usein pohjavedenpinta laskee tai sitä joudutaan laskemaan. (Matela 2005b)

Paalulaatta on rakennettu liian kapeana

Paalulaatta on saatettu rakentaa liian kapeana. Jos laatta on ainoastaan raiteiden alla ja radan pengertäyte leviää laatan reunojen ulkopuolelle, voi sivujen painuminen muodostua ongelmaksi. Pengertäytteen reunat pääsevät painumaan. Tästä saattaa olla seurauksena reunojen sortumat. Tilanne on esitetty kuvassa 3.4. (Suomalainen 2005)



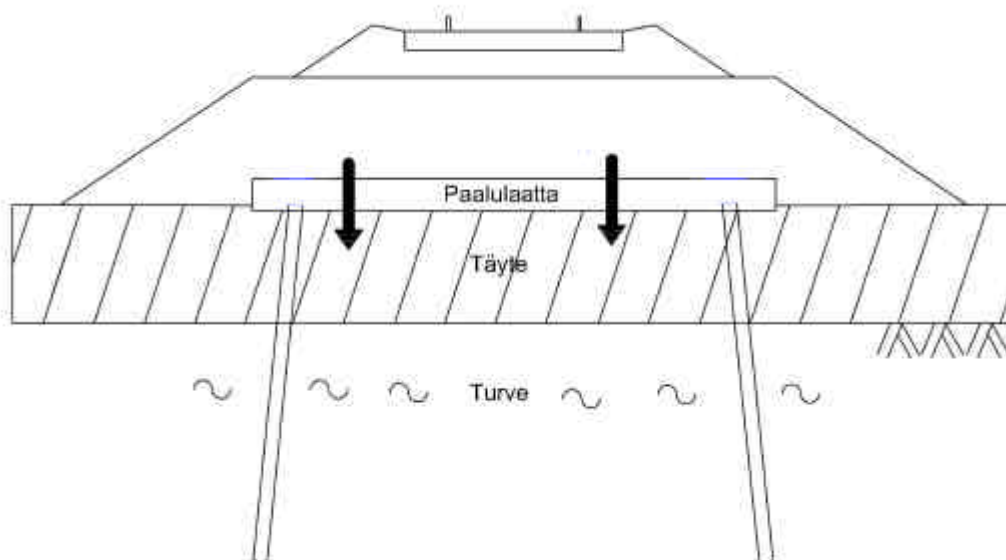
Kuva 3.4. Paalulaatta rakennettu liian kapeana.

Paalulaatan rakentamisessa tai suunnitelmissa virheitä

Paalulaatan rakentamisen aikana on voitu tehdä työvirheitä, kuten virheitä raudoituksessa tai betonoinnissa. On myös mahdollista, että paalulaatan suunnitelmat ovat virheellisiä tai laattaa ei ole rakennettu suunnitelmien mukaisesti. Tämä on mahdollista erityisesti ennen vuotta 1992 laadituissa suunnitelmissa. Tällöin selviä suunnitteluohjeita ei ollut. (Suomalainen 2005)

Betonivalun aikana tapahtuva painuminen rikkoo laatan

Mikäli maa paalulaatan alla painuu betonivalun aikana, kovettumaton betonilaatta painuu ja heikentää laatan lävistyskapasiteettia. Laatan kovettumisen aikana tapahtuva painuma rikkoo heikkolujuuksista betonia. Mikäli pohjamaan painuminen katsotaan ongelmaksi, voidaan pohjamaata lujittaa esim. massastabiloinnilla. Jäykistetty valumuotti voidaan ripustaa kiinni varsinaisiin paaluihin, jotta se ei pääse painumaan. Vaihtoehtoisesti siltamaisen paalulaatan muotit ja niiden tukirakenteet tukeutuvat erilliseen puupaalutukseen. Betonin täydellinen lujittuminen kestää noin 28 vrk, mutta kriittisin aika painuman kannalta on valun jälkeinen vuorokausi. Kuvassa 3.5 on periaatekuva laatan painumisesta. (Matela 2005b, Suomalainen 2005)



Kuva 3.5. Paalulaatta painuu valun aikana.

Negatiivinen vaippahankaus

Negatiivinen vaippahankaus rasittaa paalulaattarakennetta. Vaippahankaus syntyy, kun paalua ympäröivä maa painuu enemmän kuin paalu. Negatiivista vaippahankausta esiintyy pääasiassa savimaassa erityisesti silloin, kun tukipaalu on lyöty savikerrosten läpi ja paalua ympäröivä savikerros kokoonpuristuu. Kokoonpuristuminen voi johtua esim. pohjaveden alentumisesta tai täytemaakerroksen aiheuttamasta kuormituslisäyksestä. Negatiivinen vaippahankaus on huomioitava paalutuksen mitoituksessa. (Rantamäki & Tammirinne 2000)

Sivukuorma tai sivuvastus

Paalu saattaa joutua taivutetuksi paalun ympärillä olevan toispuolisen maatyön, ulkopuolisen voiman tai maan siirtymisestä johtuvan maanpaineen vuoksi. Maan siirtyessä paalua vasten on kysymys sivukuormasta ja paalun siirtyessä maata vasten on kysymys sivuvastuksesta. Paalu on mitoitettava tietylle sivukuormalle. Rakenteita mitoitettaessa huomioidaan paalun kohdalla olevien maalajien mukaiset sivuvastukset rakennetta tukevin jousina. Esimerkiksi työmaaliikenne, kunnossapito tai laajennusrakentaminen saattaa aiheuttaa sivukuormia, joita ei mitoitusvaiheessa ole osattu ottaa huomioon. (Rantamäki et al. 2000)

Mikäli rakenteessa ei ole vinopaaluja, jarrukuormia ei voida huomioida mitoituksessa ellei paalun sivuvastuksia voida hyödyntää. Radan suuntaisia vinopaaluja ei ole paaluhatuissa ja kolmen paalun elementtilaatoissa.

4 PAALULAATTOJEN RAKENTAMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Yleistä

Paalulaatan rakentaminen liikenteen alaiselle raiteella on haasteellista. Junaliikennettä on pyrittävä häiritsemään mahdollisimman vähän. Paalulaatan rakentamisen kannattavuus on selvitettävä aina tapauskohtaisesti. On mietittävä, kannattaako painuma-aluetta hoitaa lisäämällä kunnossapitoa vai tuleeko kokonaistaloudellisesti edullisemmaksi rakentaa painuma-alueelle paalulaatta. Rakentamiskustannusten lisäksi on arvioitava liikennehaittakustannukset. Henkilöliikenteen hoitaminen linja-autoilla maksaa suoraan kaluston vuokrakustannuksina, mutta se aiheuttaa myös vaivaa matkustajille. Tavaraliikenteen peruuttaminen tai häiritseminen on myös kallista. Tärkeä kysymys on myös, minkälaisilla raidevarauksilla työt kannattaa tehdä ottaen huomioon liikenteelle aiheutuvat häiriöt ja työn kustannukset.

Vaihtoehtoisia paalulaatan rakentamistapoja on asentaa paalulaatta olemassa olevan raiteen alle lyhyellä raidevarauksella, pidemmän raidevarauksen aikana tai rakentaa kokonaan uusi raide nykyisen raiteen viereen. Tässä työssä on keskitytty ainoastaan paalulaatan rakentamiseen liikennöitävän raiteen alle.

4.2 Painuma-alueen hoitaminen lisäämällä kunnossapitoa

Vaihtoehto suurelle rakennustoimenpiteelle on painuma-alueen hoitaminen kunnossapitoa lisäämällä. Lisääntyneen kunnossapidon kustannukset voidaan arvioida vain likimääräisesti. Pelkonen on tehnyt laskelmia Lielähti-Seinäjäki -välillä sijaitsevalta pehmeiköltä kilometrivälillä 320+200–320+700, jonka painumaa on hoidettu kunnossapitoa lisäämällä. Arviot perustuvat kokemukseen ja muiden kunnossapitäjien haastatteluihin. Säännöllistä kustannusseurantaa kyseisestä kohteesta ei ole tehty. Kunnossapidon työt on jaettu viiteen eri ryhmään: painuma-alueen tarkastukset/tarkkailu, raiteen tukeminen, raiteen sepelöinti, raiteen harjaus ja tukikerroksen muotoilu sekä ajolangan tarkistus ja tarvittaessa ajolangan aseman säätäminen. (Pelkonen 2005)

Tarkkailuun kuuluvat vastaavan työnjohtajan tarkastukset, tarkastukset työryhmän kanssa, radan tarkastus liikkuvasta kalustosta ja painumamittaukset. Korjaustoimenpiteitä kyseisellä pehmeiköllä on jouduttu tekemään keskimäärin 4-5 kertaa vuodessa. Raiteen tukeminen on tehty tukemiskoneella. Tukemisen kustannukset pienissä kohteissa riippuvat tukemiskaluston siirtomatkoi-ista, jotka saattavat muodostua hyvinkin pitkiksi. Raiteen lisäsepelöinti tehdään vähintään jokaisen tukemiskerran jälkeen, samoin raiteen harjaus ja tukikerroksen muotoilu. Hinta määräytyy pitkälti koneiden saatavuuden mukaan, samalla tavoin kuin tukemisen kohdalla. Ajolangan tarkistus on tehtävä viimeistään silloin, kun vaaka- tai pystygeometria muuttuu enemmän kuin 50 mm langan perusasennosta. Eri työvaiheista muodostuvat kustannukset on esitetty taulukossa 4.1. (Pelkonen 2005)

Taulukko 4.1. Lisääntyneen kunnossapidon kustannukset. (Pelkonen 2005)

Toimenpide	Hinta vuodessa [€/rd-m]	Tehty [kerta/vuosi]
Tarkastukset /tarkkailu	39	6-8
Tukeminen	34	4-5
Sepelöinti	31	4-5
Harjaus ja tukikerroksen muotoilu	25	4-5
Ajolangan tarkistus /aseman säätäminen	21	2-3
Yhteensä	150	

Taulukon 4.1 mukaan eri työvaiheista aiheutuneet kustannukset muodostavat lisääntyneen kunnossapidon kustannuksiksi 150 €/raidemetri/vuosi. Hinta-arvio riippuu pitkälti siitä, miten usein toimenpiteitä on tehtävä. Taulukossa on esitetty arvio toimenpidetiheydestä. Tarkastuksia saatetaan pahimpina aikoina joutua tekemään jopa kerran viikossa. Taulukossa esitetty tarkastustiheys on sisällytetty hinta-arvioon. Hinnoittelussa ei ole huomioitu mahdollisia nopeusrajoitusten asettelua ja siihen liittyviä mahdollisia junien myöhästymisistä aiheutuvia kustannuksia. Nopeusrajoituksia saatetaan joutua alentamaan erityisesti talviolosuhteissa tai keväisin, jolloin muutokset saattavat olla hyvinkin nopeita. Taulukossa 4.2 on arvioitu lisääntyneen kunnossapidon kustannuksia pitkällä aikavälillä. (Pelkonen 2005).

Taulukko 4.2. Lisääntyneen kunnossapidon kustannuksia. (Pelkonen 2005)

Ongelma-alueen pituus [m]	Hinta /vuosi [€]	Hinta /5 vuotta [€]	Hinta /10 vuotta [€]
100	15 000	68 200	121 700
200	30 000	136 400	243 300

Taulukosta 4.2 nähdään, että mikäli lisääntyntä kunnossapidon tarvetta on esimerkiksi 100 metrin mittaisella painuma-alueella, sen hoitaminen maksaa 15 000 € vuodessa. Viidessä vuodessa hinnaksi tulee 68 200 € ja 10 vuodessa 121 700 €. Hinnat on laskettu 5%:n indeksikorjauksella. Kunnossapitoa saatetaan joutua tekemään useita kymmeniä vuosia eikä riskiä saada täysin poistettua. Tarvittavien kunnossapitokertojen määrää on myös erittäin vaikea arvioida. Onnettomuusriski on aina olemassa ja onnettomuuden sattuesssa kustannukset ovat mittaamattomat.

4.3 Paalulaattojen rakentamisen kustannukset

4.3.1 Yleistä

Liikennöitävää rataa kunnostettaessa kriittisimmät kohteet työraon perusteella ovat paalulaattojen rakentaminen ja siltatyöt. Paalulaatan valu tai asentaminen on helppointa tehdä vähintään 2 vuorokauden mittaisen raidevarauksen aikana, mutta pitkä raidevaraus on usein mahdoton toteuttaa. Nissisen erityistyön mukaan raidevarauksen aikana rakennetun paalulaatan ja uuden raiteen rakentamisella nykyisen raiteen viereen ei ole suurta kustannuseroa. Näin ollen paalulaatta kannattaisi periaatteessa rakentaa nykyisen raiteen viereen eli rakentaa uusi vanhan viereen paalulaattaa vaativalla kohdalla. Tällöin junaliikenteen vaikutus jää lähes kokonaan pois. Tässä työssä keskitytään kuitenkin liikenteen alaiselle raiteelle sopiviin rakentamismenetelmiin. Esimerkiksi Seinäjoki-Oulu –projektin alustavassa yleissuunnitteluvaiheessa käytettiin paalulaatan rakentamisen kustannusarviona 5000 €/raidemetri. (Nissinen 2004)

Lyhyillä raidevarauksilla rakentaminen asettaa erityisvaatimuksia. Rakentaminen ei välttämättä onnistu suunnitelmien mukaan ja lyhyessä ajassa rakentamisen aikana ilmenneitä ongelmia ei ole mahdollista korjata. Työn laatu saattaa kärsiä, jos työ joudutaan tekemään nopeammin kuin olisi parhaan mahdollisen lopputuloksen kannalta jär-

kevää. Työn kannattavuus paranee, jos katkot on saatavissa päiväsaikaan kuten Seinäjoen-Oulu -projektissa. Pitkän raidevarauksen aikana työn laadun voidaan katsoa olevan parempaa. Tapauskohtaisesti on aina selvitettävä, kannattaako monen päivän mittaista raidevarausta edes lähteä tavoittelemaan. Monen päivän mittaisen raidevarauksen aikana olisi järkevää ja kannattavaa saada mahdollisimman paljon töitä tehtyä. Monen päivän mittainen raidevaraus tulee yleensä kyseeseen vain, mikäli rataosalla voidaan työkennellä mahdollisimman monessa paikassa samaan aikaan. Tarvittavan katkon pituuteen vaikuttavat ensisijaisesti resurssien riittävyys. (Nissinen 2004, Matela 2005b)

4.3.2 Raidevaraukset ja jännitekatkot

Raidevarauksella tarkoitetaan kahden aikataulun mukaisen junan välistä aikaa, joka on mahdollista varata työn tekoa varten. Raidevarauksen lisäksi puhekielessä käytetään termejä työrajo ja liikennekatko. Raidevaraus on suositeltavin termi. Raidevarauksen pituutta on mahdollista pidentää erilaisin liikennejärjestelyin ja muuttamalla juna-aikatauluja. Junaliikenteen totaalikatko tarkoittaa pidempää, yleensä vähintään vuorokauden mittaista erikoisjärjestelyä, jossa useampia junia on poistettu liikenteestä ja korvattu esimerkiksi linja-autokuljetuksin. Myös totaalikatko-termin sijasta on suositeltavaa käyttää termiä ”raidevaraus”. Junaliikenteen totaalikatkossa on vain yhden työn aloitus- ja lopetustoimenpiteet. Toisaalta pitkä yhtämittainen rakentaminen kuormittaa koneita ja miehistöä. Lisäksi henkilökustannukset kasvavat, mikäli työ tehdään kolmessa vuorossa. Raidevaraus on aina tehtävä mielellään paria viikkoa ennen suunniteltua työtä. Eri rataosilla raidevarauksia on saatavilla eri tavoin riippuen rataosan liikennemääristä. (Kataja 2001, Hakala 2003)

Jännitekatko tarkoittaa radan tietyn osan tekemistä jännitteettömäksi. Jännitekatko vaaditaan, mikäli työnaikaisesta sähköturvallisuudesta ei voida muuten varmistua. Jännitekatko voidaan tehdä eri pituisille jaksoille. Jännitekatkot rajataan erottimien (E), ryhmityseristimien (RE) ja/tai erotusjaksojen avulla. Erotin on mekaanisesti toimiva kytkinlaite, joka auki-asennossa saa aikaan luotettavan avausvälin ja kiinni-asennossa kykenee johtamaan kuormitus- ja oikosulkuvirran, mutta jolta ei vaadita katkaisua eikä sulkemiskykyä. Ryhmityseristin jakaa ajojohtimen kahteen sähköiseen ryhmään siten, että alta kulkeva virroitin voi ottaa koko ajan tehoa. Erotusjakso on rakenne, jossa ajo-

johdin on vierekkäisten syöttöalueiden rajalla eristetty pituussuunnassa kahdesta peräkkäisestä kohdasta, joiden väliin jää maadoitettu osa. (RHK 2001)

Lyhyehkö jännitteetön rataosa on mahdollista ohittaa sähkökaluston virroitin alhaalla rullaamalla liike-energian avulla. Pidemmän jännitteettömän rataosan ohittaminen vaatii sähkökaluston muuttamista dieselvetoiseksi tai tilaamalla etukäteen ns. apuveturi. Apuveturilla vedetään sähkökalusto jännitteettömän osuuden ohi. Tämä aiheuttaa kuitenkin lisäkustannuksia. Jännitekatkosta on aina tehtävä jännitekatkopyyntö. Se on sähkölaitteiston käytön johtajalle tai poikkeustapauksessa käyttökeskukselle esitetty anomus sähkölaitteen tietyn osan tekemistä jännitteettömäksi. Jännitekatkopyyntö tulee tehdä vähintään 2 viikkoa ennen tehtävää työtä. (RHK 2001, Kallioniemi 2005)

Lyhyt raidevaraus (6 tuntia)

Paalulaatat pystytään asentamaan lyhyellä raidevarauksella elementteinä. Elementit voidaan asentaa joko nosturiasennuksessa radan ollessa kaivettua auki tai tunkkaamalla (ns. tulitikkulaatikkoperiaate) tai apusiltojen avulla. Apusiltoja (AS-20) ei ole vielä käytetty paalulaatan rakentamisessa, sen sijaan siltakohteissa sitä on käytetty paljon. UPAS-apusiltojen käyttöä paikallavalettavien paalulaattojen rakentamisessa kehitellään. (Nissinen 2004)

Pidempi raidevaraus (yli 1,5 vrk)

Paalulaatan asennus paikallavaluna vaatii vähintään 36 tunnin raidevarauksen. Pitkät paalulaatta-alueet voivat olla jopa 2,5 kilometrin pituisia. Paalulaatan rakentamisen edeltävinä töinä tehdään paalutus ja valetaan raiteensuuntaiset palkit. Jotta pidempi raidevaraus olisi kannattava, edellyttäisi se myös muita töitä tehtävän samalla raidevarauksella. Yleisesti ottaen vaikuttaa kannattavimmalta sekä kustannukset että laatu huomioon ottaen tehdä uusi raide nykyisen viereen. (Nissinen 2004)

Tehokasta työaikaa arvioitaessa on huomioitava varsinaisen rakentamiseen kuluva ajan lisäksi työn aloittamiseen ja lopettamiseen kuluva aika sekä erilaisiin ongelmatilanteisiin kuluva aika. Kun määritetään tehollinen työaika ja etenemä samana aikana, saadaan esitettyä työn tehokkuus (rd-m/h). Työt voidaan jakaa esimerkiksi alustaviin töihin, työn aloitukseen, varsinaiseen rakentamiseen, työn lopetukseen ja jälkitöihin. Alustavat työt ja jälkityöt ovat vaikeasti määriteltäviä ja yleensä ne tehdään varsinaisen raidevarauksen

ulkopuolella. Alustavia töitä tehdään mahdollisimman paljon, jotta itse raidevaraus saadaan hyödynnettyä mahdollisimman tehokkaasti ja järkevästi. (Kataja 2001)

Alustaviin töihin kuuluvat mm. kaapelireittien selvittäminen, kaapelien siirtäminen, huoltotien rakentaminen, rumpujen korjaukset ja kuivatusjärjestelyt, ylikäytävien purkaminen, liikenteen ohjaus, nopeusmerkkien ja baliisien asennukset, kiskojen katkaisut ja hitsaukset, suurten kivien poistaminen jne. Työn aloitukseen kuluva aika alkaa, kun työalueelle on saatu junasuorittajalta lupa ryhtyä töihin eli raidevaraus on alkanut. (Kataja 2001)

4.3.3 Paalulaattojen rakentamiskustannukset yleisellä tasolla

Paalulaattojen rakentamisen kustannukset voidaan karkeasti jakaa kone-, materiaali- ja henkilökustannuksiin. Paalulaatan rakentamisen kustannukset koostuvat huoltoteiden rakentamisesta, radan sähköistyksen vaikutuksista työmaan kohdalla, paalutuksesta, radan tukemisesta, tukikerroksen tiivistyksestä, tarvittavista materiaaleista, henkilökustannuksista ja aputöistä kuten junaturvallisuudesta huolehtimisesta. Kustannuksia on siis hyvin monenlaisia ja näin ollen niitä on melko vaikea arvioida. Paalulaatta- tai paaluhatturakenteen kustannusarvio saadaan yleisesti ottaen riittävän tarkaksi ottamalla huomioon paalumetrit, paaluhattujen lukumäärä tai paalulaatan pinta-ala, jatkosten määrä ja kalliokärkien määrä. Kun paalutuksen kustannukset halutaan määrittää tarkemmin, on huomioitava työalustan kustannukset kuten materiaali, tekeminen ja kuitukangas, muotitustyöt, terästen hankinta ja raudoitustyö sekä betonin hankinta ja valutyö. Paalulaattarakenteessa paalumäärä jää pienemmäksi kuin hatturakenteessa, koska laatassa on mahdollista käyttää isompia paaluja ja niiden kantokyky voidaan käyttää tarkemmin hyväksi. Toisaalta laatta on kalliimpi kuin hatut. Tuhola on tutkinut diplomityössään ”Väylän alusrakenteen elinkaarikustannusmalli” pohjarakenteiden kustannuksia ja luonut yksinkertaistetut mallit eri rakennuskustannusten riippuvuudesta penkereen dimensioista. (Tiehallinto 2002, Tuhola 2005)

Paalulaatta voidaan asentaa joko nykyisen raiteen alle tai tehdä sivuttaissiirto eli rakennetaan kokonaan uusi raide nykyisen raiteen viereen. Uuden raiteen rakentamisessa ongelmaiseksi muodostuu usein raiteen liittäminen nykyiseen raiteeseen. Tavoitenopeuksista johtuen siirtymäalue muodostuu suhteellisen pitkäksi. Edellisten vaihtoehtojen lisäksi

on myös mahdollista, että rakennetaan väistöraide nykyisen raiteen viereen rakennustöiden ajaksi. Paalulaattojen teossa tätä periaatetta ei ole paljon käytetty, mutta siltojen rakentamisessa kylläkin ennen tunkkausmenetelmän käyttöä. Tätä vaihtoehtoa mietittäessä on selvitettävä, mitä haittoja se liikenteellisesti aiheuttaa ja miten paljon pohjanvahvistuksia väistöraide tarvitsee. Uuden raiteen rakentaminen vanhan viereen on pohjarakenteiden osalta edullisempi kuin vanhan raiteen korjaaminen. Kokonaiskustannuksiltaan uuden raiteen rakentaminen vanhan viereen on kuitenkin yleensä epäedullisempaa kuin parantaa vanhan ratapenkereen pohjarakenteita. (Nissinen 2005a)

4.4 Raideliikenteelle aiheutuvista haitoista syntyvät kustannukset

Junaliikenteen seisottaminen, kierrättäminen muita ratoja pitkin tai sen korvaaminen muilla liikennevälineillä on hankalaa ja kallista. Tämän vuoksi raidevarauksiin tarvittava aika tulisi saada niin pieneksi kuin mahdollista. Henkilöliikenne voidaan järjestää hoidettavaksi linja-autoilla tai takseilla, mutta se on kallista ja vie matkustajia. Kaluston vuokrakustannusten lisäksi junaliikenteen häiriöt vaikeuttavat asiakkaiden matkantekoa. Tavaraliikenne voidaan teoriassa hoitaa myös maanteitse tai mahdollisesti kierrättämällä muiden ratojen kautta, mutta se ei yleensä onnistu, vaan tavaraliikenne seisoo ja odottaa, että raidevaraus päättyy.

Suomen rataverkosta noin 90% on yksiraiteista (RHK 2005a). Kaksi- ja useampiraiteiset rataosuudet painottuvat Etelä-Suomeen ja vaihtoehtoisia reittejä on vähän. Nämä asettavat ongelmia ratatöiden suunnittelulle. Rataverkon käyttöaste on korkea etenkin pääradoilla. Junien määrän kasvaessa ratatöiden tarve kasvaa, mutta toisaalta sopivia raidevarauksia on entistä vaikeampi saada. Ratatyöt voidaan tehdä liikenteenalaisilla rataosuuksilla joko lyhyissä työraoissa tai monen päivän raidevarauksen aikana. (RPC 2003, Natunen 2004).

Radanpitäjän kannalta helpoin ratkaisu on tehdä ratatyöt pitkän raidevarauksen aikana. Sen sijaan liikennöitsijä eli VR Osakeyhtiö toivoo mahdollisimman vähän katkoja, jotta liikennöinti sujuisi mahdollisimman joustavasti. Toisaalta radan korjaaminen on myös VR Osakeyhtiölle hyödyksi. Ratahallintokeskuksella ja VR Osakeyhtiöllä on keskinäinen sopimus (RHK-578) rataverkon käytöstä. Tavoitteena on mahdollisimman vähän liikennehaittoja sekä mahdollisimman tehokas ja taloudellinen työtulos. Merkittävim-

mistä liikenteeseen vaikuttavista töistä tehdään suunnitelma ajoituksineen ja myöhästymisille asetetaan tavoiterajat. Ratahallintokeskus maksaa haittakorvauksia VR Osakeyhtiölle, mikäli junat ovat myöhässä esim. radan kunnosta johtuvien syiden takia. Haittakorvauksia on esitetty taulukossa 4.4. (Blomqvist 2005, RHK 2004b)

Taulukko 4.4. Ratahallintokeskuksen maksamat korvaukset junien myöhästymisistä sopimuksen RHK-578 mukaan. (RHK 2004b)

Yli 15 min myöhästynyt kaukoliikenteen matkustaja- tai TK-juna	1177 €
Yli 30 minuuttia myöhästynyt tavarajuna	1177 €
Peruutettu matkustaja- tai TK-juna	1682 €
Helsingin lähiliikenteessä yli 15 min myöhästynyt tai peruutettu juna	336 €

Mikäli rakentaminen syystä tai toisesta venyy eikä sitä saada tehtyä etukäteen sovitun raidevarauksen aikana, urakoitsija maksaa sakkoa Ratahallintokeskukselle. Ratahallintokeskus maksaa hyvitystä junaliikenteen häiritsemisestä liikennöitsijälle (eli VR Osakeyhtiölle) sopimuksen mukaisesti. Taulukosta 4.4 nähdään, että korvaukset ovat suhteellisen pieniä. Vuonna 2004 ratainfrasta johtuvia myöhästymisiä Ratahallintokeskus korvasi VR Osakeyhtiölle 1 200 000€, joista raidevarauksen ylityksistä johtuvia ylityksiä oli 55 000 €. Raidevarauksen ylityksistä johtuvia korvauksia oli siis melko vähän eli yleisesti ottaen ratatyöt oli suunniteltu hyvin. (Blomqvist 2005)

Henkilöliikenne on helpompi korvata busseilla kuin tavaraliikenne. Tavarajunat on usein mahdotonta korvata vaihtoehtoisilla kuljetusmuodoilla. Esimerkiksi raskaan tavarajunan kuorma saattaa vaatia kymmeniä tai satoja rekkoja. Pitkistä raidevarauksista ja junien perumisesta koituu tulomenetyksiä VR Osakeyhtiölle. Jos matkustusaika pitenee ratatöiden takia esim. 2 vuoden ajaksi, osa matkustajista lopettaa junan käytön. Ratatöiden loputtua kestää kauan ennen kuin matkustajamäärä palautuu ennalleen. Ratatöiden aikaan VR Osakeyhtiö säästää Ratahallintokeskukselle maksettavissa ratamaksuissa ja energiakustannuksissa. Sen sijaan junaliikenteen erikoisjärjestelyt maksavat paljon. Esim. jos matkustajat kuljetetaan ratatyöpaikan ohi bussilla, tulee työmaan molemmilla puolilla olla veturi ja vaunut odottamassa, joka tulee kalliiksi. (Keränen 2005, Blomqvist 2005)

Englannissa vuonna 2003 tehdyssä Rail Passengers' Council'in (RPC) tilaamassa tutkimuksessa on tutkittu matkustajien suhtautumista ratatöihin. Matkustajat pitivät tärkeimpinä asioina turvallisuutta, täsmällisyyttä ja vastineen saamista rahalleen. Ratatyöt vaikuttavat suhtautumiseen koko rautatietoimialaan. Britanniassa 50% kyselyyn vastanneista vaihtaa kulkuvälinettä ratatöiden takia, mutta 60% heistä palaa takaisin ratatöiden loppumisen jälkeen. Suomessa matkustajamäärät ovat usein kasvaneet ratatöiden valmistuttua. Tutkimuksessa havaittiin, että ratatöihin suhtautumiseen voidaan vaikuttaa oleellisesti onnistuneella tiedotuksella. Mitä enemmän ja aiemmin matkustajat saavat tietoa ratatöistä, sitä helpommin häiriöt hyväksytään. (RPC 2003, Nyby 2004)

Pesonen on tehnyt laskelmia, kuinka paljon henkilö- ja tavarajunien peruuttamisesta ratatöiden takia aiheutuu kustannuksia VR Osakeyhtiölle. Kuuden tunnin raidevarauksen saamiseksi joudutaan perumaan keskimäärin 4 henkilöjunaa ja 2 tavarajunaa. Vuositasolla yhden junan peruminen maksaa VR Osakeyhtiölle noin 1 milj. € Karkea arvio on, että kustannukset henkilöjunaa kohti ovat noin 2000-2500 €/vrk ja tavarajunaa kohti 2500-3000 €/vrk. Lisäksi junien peruuttamisesta aiheutuu pysyvää matkustajakatoa sekä tavaraliikenteen puolella menetetään asiakkaita. Henkilöjunien korvaaminen busseilla aiheuttaa myös lisäkustannuksia. Bussimatkan jatkoyhteyksiä varten tarvitaan usein lisäajuna, joka kuljettaa asiakkaat määränpäähänsä. (Pesonen 2005)

Nopeuden alentaminen täydestä nopeudesta nopeuteen 60 km/h maksoi 1980-luvulla 10 mk/juna. Kyseinen kustannus syntyi energian lisäkulutuksesta jarrutettaessa ja kiihdytettäessä junaa. Voidaan olettaa, että nykyisillä energiahinnoilla nopeuden alentaminen maksaa noin 6 €/juna. (Pesonen 2005)

Junaliikenteen häiritsemisen kustannukset ovat huomattavia liikennöitsijälle. Suorien kustannusten lisäksi epäsuorat kustannukset ovat huomattavia. Tämän takia menetelmät, jotka voidaan tehdä lyhyissä raidevarauksissa, ovat liikennöitsijän kannalta edullisia.

5 PAALUHATTURAKENTEIDEN KORJAAMINEN

5.1 Yleistä

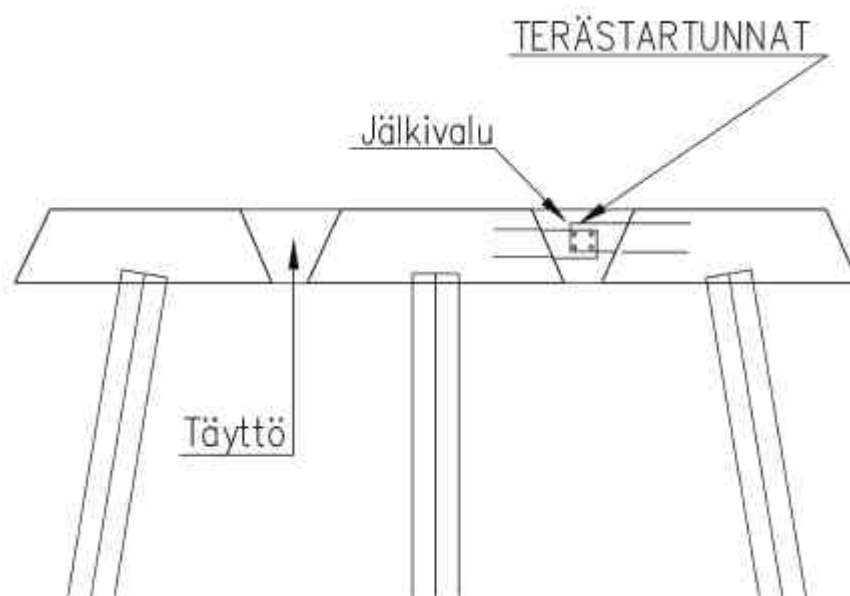
Paaluhatturakenteita on rautateillä käytetty paljon 1970-luvun loppupuolella ja 1980-luvulla ennen kuin paalulaattarakenteet yleistyivät. Tuohon aikaan paaluhatturakenteita pidettiin hyvänä perustamismenetelmänä. Käytäntö on osoittanut, että ratarakenteessa ne eivät joka paikassa toimi hyvin. Syitä ongelmiin on monia. Holvautumisen purkautumista edistää junaliikenteestä aiheutuva värinä, runsaat sateet sekä veden jäätyminen ja sulaminen pakkaskauden aikana. Sen sijaan tierakenteessa paaluhatut ovat toimineet paremmin. Asfalttikerros vähentää veden pääsyä rakenteeseen ja teillä pengerkorkeus on usein suurempi kuin radoilla. Lisäksi tierakenteeseen kohdistuvat kuormat ovat pienempiä, eikä dynaaminen kuormitus ole yhtä suuri. Yleisimpiä vaurioita paaluhatturakenteissa on hattuvälien vuotaminen ja tästä johtuva hattujen kallisteleminen. Nykyään uusia paaluhattuja ei enää rakenneta rataverkolle lukuun ottamatta joitakin erikoiskohteita, kuten paaluhattualueelle rakennetun radan leventämistä. (Harjula 1995, Suomalainen 2005)

Paaluhatturakenteen toimivuuden kannalta suurimpana ongelmana on, että maa hattujen alla painuu. Syntyneeseen tyhjätilaan valuu paaluhattujen välistä rakennekerrosmateriaalia ja näin ollen hattu ei ole tuettu joka suunnalta. Tällaisessa tilanteessa hattu saattaa kallistua ja rakenne ei ole enää stabiili. Paaluhatturakenteen stabiliteettia voidaan parantaa esimerkiksi täyttämällä paaluhattujen alle syntynyt tyhjätila kevytsoralla, murskeella, maakostealla betonilla tai vaahtobetonilla. (Matela 2005b)

Tyhjätilojen täyttäminen tehdään yleensä siten, että rata on kyseiseltä kohdalta kaivettu auki. Näin ollen täyttö saadaan tasaisesti joka kohtaan. Radan aukikaivaminen vie kuitenkin paljon aikaa ja aiheuttaa haittaa liikenteelle. Täyttäminen on usein tilapäinen apu. Yleensä maa paaluhattujen alla jatkaa painumistaan ja täyttö on uusittava tietyin väliajoin. Näin ollen se ei ole pitkällä tähtäimellä järkevä eikä edullinen menetelmä. Kestävämpiä korjaustapoja ollaan kehittämässä.

Menetelmät voidaan jakaa kevyisiin ja raskaisiin korjausmenetelmiin. Kevyitä menetelmiä ovat tyhjätilan täyttäminen ja lujitekankaan tai –verkon asentaminen paaluhattujen päälle. Pysyvämpiä rakenteita, joiden tarkoitus on poistaa paaluhattujen painumisesta johtuvat ongelmat kokonaan, ovat korjaus stabilointielementtitaatan, vaakasuoraan lyötyjen teräsponttien, teräsbetonilaatan tai paaluhattujen yläpuolelle rakennettavien paalulaattarakenteiden avulla. Raskaat korjausmenetelmät ovat luonnollisesti hyvin kalliita, mutta toisaalta niillä saadaan aikaan pysyvä vaikutus ja jatkuva kunnossapidon tarve poistuu. Pitkällä aikavälillä pysyvät menetelmät tulevat usein kokonaistaloudellisesti edullisemmiksi. Tähän mennessä edellä mainituista korjausmenetelmistä ratarakenteissa on käytetty tyhjätilan täyttöä, erilaisia tukikankaita, stabilointielementtitaattaa ja teräsbetonilaattaa. Muita esitettyjä menetelmiä ei ole vielä käytetty.

Mikäli uusia paaluhatturakenteita vielä tehdään, paaluhatut voidaan kiinnittää toisiinsa esimerkiksi terästartunnoilla, jotka tekevät paaluhatturakenteesta vakaamman. Lisäksi paaluhatut on järkevää muotoilla siten, että niiden väliin jää vähemmän tyhjätilaa. Kuvasssa 5.1 on esitetty periaatekuva terästartunnoista ja paaluhattujen taloudellisemmasta muotoilusta. (Matela 2005a)



Kuva 5.1. Paaluhattujen kiinnitys toisiinsa terästartunnoin ja hattujen muotoilu. (Matela 2005a)

Paaluhattujen välit täytetään murskeella, maakostealla betonilla tai vaahtobetonilla. Terästartunnat porataan hattuihin pitämään ne tiukemmin kiinni toisissaan ja estämään hattujen kallistelu. Paaluhattujen rakentamisvaiheessa terästartunnat saadaan paikalleen helposti ja edullisesti. Terästartuntoja käytettäessä on paaluhattujen välinen rako täytettävä betonilla.

5.2 Kevyet korjausmenetelmät

5.2.1 Tyhjätilan täyttö

Tyhjätilan täyttö on yleisimmin tehty kevytsoralla, mutta muitakin materiaaleja on käytetty. Yleisimpiä materiaaleja ovat kevytsoran lisäksi murske, maakosteaa betoni ja vaahtobetoni. Tyhjätilan täyttö voidaan tehdä joko puhallusputkimenetelmällä tai kaivamalla rata auki. Jos rata kaivetaan auki, poistetaan rakennekerrokset paaluhattujen yläpinnan tasolla asti. Mahdollisesti kierossa olevat hatut oikaistaan ja hattujen välit täytetään. Tämän jälkeen tukikerros rakennetaan normaalisti. Menetelmä vie aikaa ja liikennehaittakustannukset ovat huomattavia. Puhallusputkimenetelmässä putki työnnetään kummaltakin puolelta rataa reunimmaisen paaluhatun alta kohti radan keskilinjaa. Rataa ei tarvitse kaivaa auki ja liikennehaittakustannukset jäävät pienemmiksi. Toisaalta radassa olevat keskimmäiset tyhjätilat saattavat jäädä täyttämättä. (Suomalainen 1997)

Erityisesti rantaradalle Kirkkonummi-Turku –välille on rakennettu 1980-luvun lopulla ja 1990-luvun alussa rataoikaisuja, joille on tehty paaluhatturakenteita. Radassa on havaittu 1990-luvun puolivälissä poikkeuksellisen suurta kunnossapitotarvetta. Radan tukemista on paikoitellen jouduttu tekemään 2-3 kertaa vuodessa. Vuonna 1997 radan huonokuntoisuutta alettiin tutkia mm. tekemällä koekuoppatutkimuksia. Koekuoppatutkimuksissa havaittiin maakerrosten painumisesta johtuvia paaluhattujen alapuolisia tyhjätiloja (kuva 5.2). Tyhjätilojen korkeus oli suurimmillaan noin 40 cm. Tutkimusten perusteella suunniteltiin kuuden paaluhattualueen korjaustoimenpiteet estämään äkilliset vauriot radan rakenteessa. Korjaus päätettiin tehdä täyttämällä syntyneet tyhjätilat kevytsoralla. (Merinen 2004)



Kuva 5.2. Kallistunut paaluhattu. (Kuva: Pekka Merinen)

Kevytsora asennettiin puhallusputkimenetelmällä. Putki työnnettiin kummaltakin puolelta rataa reunimmaisen paaluhatun alta kohti radan keskilinjaa. Menetelmällä ei saatu täytettyä kaikkia keskimmäisten paaluhattujen alapuolisia tiloja. Kevytsoran puhallukseen käytettiin erikoiskalustoa. Esimerkiksi täytössä käytetyn auton kokonaiskorkeus oli 4,3 metriä, joka rajoittaa sen käyttöä sähköistetyin raitein läheisyydessä. Tehollinen maksimiulottuma autolta kohteeseen on noin 45 metriä. (Merinen 2004, Suomalainen 1997).

Vuonna 2004 selvitettiin, miten nämä kevytsoralla tehdyt korjaukset ovat onnistuneet. Selvitys tehtiin koekuoppatutkimusten, arkistomateriaalin ja kunnossapitäjien haastattelujen perusteella. Koekuopista päästiin tarkastelemaan, miten tehdyt korjaukset ovat kestäneet (kuva 5.3). Kevytsorapuhallus on täyttänyt tyhjätilat esiin kaivettujen reunimmaisten paaluhattujen kohdalta, jotka ovat pysyneet paikallaan hyvin. Työtekniikasta johtuen keskimmäisten paaluhattujen alapuolelle on jäänyt paikallisia tyhjätiloja muutamassa kohteessa. Koekuoppien kohdalla ei pääsääntöisesti havaittu huomattavia paaluhattujen lisäkallistumisia vuoteen 1997 nähden. Yhdessä koekuopista yksittäinen paaluhattu oli kallistunut voimakkaasti (noin 1:3) korjauksen jälkeen. Kahdessa koh-

teessa on korjauksen jälkeen tapahtunut alapuolisten maakerrosten painumista. Todennäköisesti kyseisillä paikoilla paaluhattujen alapuolella on tyhjätilaa. Radan kunnossapitäjien mukaan kevytsorapuhalluksella on ollut kunnossapitotarvetta vähentävä vaikutus. Nykyinen tuentatarve on paikoitellen noin kerran vuodessa. Tuentatarve on näillä alueilla kuitenkin 2-3 kertaa tiheämpää radan muihin osiin verrattuna. (Merinen 2004)



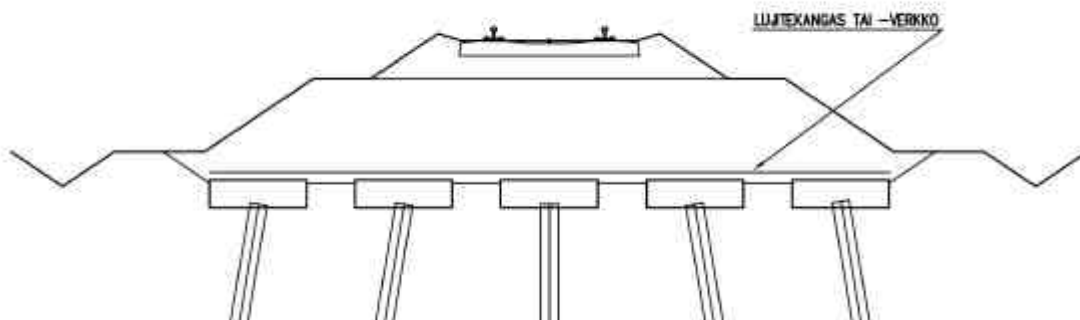
Kuva 5.3. Tyhjätila paaluhattun ja kevytsorakerroksen välissä. (Kuva: Pekka Merinen)

Tyhjätilat ovat tällä hetkellä monilla alueilla niin suuria, että radan äkilliset painumat ovat mahdollisia etenkin penkerein sulamisvaiheessa ja runsaiden sateiden yhteydessä. Riskiä lisää erityisesti yksittäisten, voimakkaasti kallistuneiden paaluhattujen rakenteellisen toimivuuden epävarmuus. Vuonna 2004 tehdyn selvityksen perusteella heikkokuntoiset paaluhattualueet esitetään korjattavaksi. Kevytsorapuhallusta ei voida tehtyjen havaintojen perustella pitää pysyvänä korjaustoimenpiteenä eikä se poista lisääntyntä radan kunnossapitotarvetta. Kyseisessä selvityksessä pysyväksi korjaustavaksi esitetään uusien betonisten elementtilaattojen asentamista esiin kaivettujen paaluhattujen päälle. Vaihtoehtoisena ratkaisuna on esitetty paaluhattujen yläpuolelle lyötävää vaakasuuntaista teräsponsittilevyä. Näistä menetelmistä on lisätietoa seuraavissa kappaleissa. Paaluhattualueiden seurantaohjelmaksi esitetään kunnossapidon ja Emma-

raiteenmittaustulosten seuranta, koekuoppatutkimusta viiden vuoden sisällä ja korjattavaksi esitettyjen paaluhattualueiden kohdalla suoritetaan korjauksen toteuttamiseen saakka tehostettua tarkkailua. (Merinen 2004)

5.2.2 Korjaus lujitekankaan tai -verkon avulla

Paaluhattujen yläpuolelle asennetaan lujitekangas ja/tai -verkko, jonka tehtävänä on estää radan rakennekerrosmateriaalin valuminen paaluhattujen väliin. Lujitekangas voi olla esimerkiksi geotekstiili. Tämä menetelmä on kevyt korjaustapa. Menetelmä ei kuitenkaan ole kovin kestävä ratkaisu. Lujitekangas tai -verkko asennetaan paaluhattujen yläpuolelle raidevarauksen aikana. Kaivutyöt, paaluhattujen suoristaminen, lujitekankaiden tai -verkkojen asentaminen paaluhattujen päälle ja täyttötyöt on kaikki tehtävä raidevarauksen aikana. Näin ollen menetelmä häiritsee junaliikennettä paljon. Periaatekuva menetelmästä on esitetty kuvassa 5.4. Menetelmää on käytetty useassa kohteessa. (Nissinen 2005b, Matela 2005a)



Kuva 5.4. Paaluhattujen yläpintaan lujitekangas tai -verkko. (Matela 2005a)

Menetelmän etuna on sen edullisuus ja asennuksen helppous. Erityisesti lujitekangas on suhteellisen edullista. Toisaalta menetelmä vaatii radan aukikaivamisen, joka aiheuttaa suuria liikennehaittakustannuksia. Menetelmä soveltuu parhaiten vähäliikenteisten ratojen korjausmenetelmäksi. Pääradoille menetelmä on liian kevyt. (Nissinen 2005b)

Lujitekankaan asennusmenetelmää käytetään esimerkiksi Ilmalan ratapihalla, jossa korjataan huoltoraiteiden paaluhatturakenteita. Aukikaivettujen paaluhattujen kunto tarkistetaan ja mahdollisesti kallistuneet paaluhatut oikaistaan (kuva 5.5).



Kuva 5.5. Paaluhattu näkyvissä Ilmalan ratapihalla.

Mahdolliset tyhjätilat täytetään huolellisesti kaivumateriaalilla ja karkealla hiekalla. Paaluhattujen välit täytetään, sorrutetaan ja tiivistetään iskuvasaralla. Iskujen tulee ulottua vähintään 1 metrin syvyyteen, jotta kaikki onkalot varmasti havaitaan. Paaluhattujen päälle asennetaan kuitukangas (kuva 5.6), jonka päälle asennetaan 300 mm paksuinen täyttökerros. Täyttö suoritetaan kerroksittain optimikosteudessa olevalla hiekalla tai soralla. Kuitukankaasta tehdään pussi sorakerroksen ympärille. (SIPT 2004, Katajisto 2005)



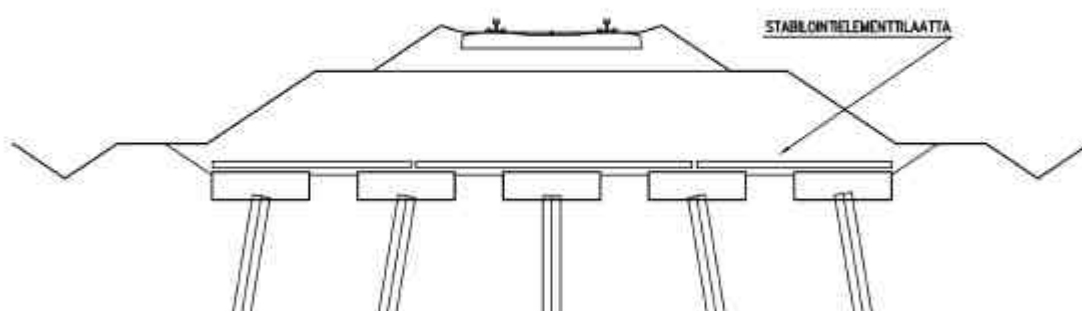
Kuva 5.6. Suodatinkankaat levitettynä paaluhattualueen päälle.

5.3 Järeämmät korjausmenetelmät

5.3.1 Korjaus stabilointilaattaelementin avulla

Betoniset stabilointielementtilaatat asennetaan esiin kaivettujen paaluhattujen päälle. Tyyppiratkaisu on kehitetty VR-Radan georyhmässä. Elementit estävät pengermateriaalin valumisen hattujen alapuolelle mahdollisesti syntyviin tyhjätiloihin. Elementtilaatoille ei tehdä rakenteellista mitoitus. Päälysrakenne puretaan ja eristyskerros kaivetaan pois siten, että paaluhatut saadaan näkyviin. Vinossa olevat paaluhatut oikaistaan. Paaluhattujen välit täytetään ja tiivistetään hiekalla ja hattujen väliset korkeus- ja kaltevuuserot tasataan maakostealla betonilla siten, että kullekin elementille muodostuu tasainen asennusala. Elementtien koko suunnitellaan siten, että yksi elementti tukeutuu neljään paaluun. Elementit asennetaan keskeisesti paikoilleen siten, että raidetta vastaan kohtisuora sauma osuu paalurivin kohdalle. Elementtien päälle asennetaan suodatinkangas, jotta eristysosan valuminen saumavälistä estyy. Elementit eivät ole toisissaan kiinni. (Harjula 1995)

Menetelmän etuna on elementtien nopea asennettavuus. Radan aukikaivaminen vie kuitenkin aikaa. Ongelmana on, että elementtirakenteen vakaudesta ei ole varmuutta. Elementteihin saattaa syntyä voimakasta halkeilua, joka altistaa betoniteräksiset korroosiolle. Tämän vuoksi elementeissä on käytetty ensisijaisesti kuumasinkittyjä tai passivoituja betoniteräksiä. Kuvassa 5.7 on esitetty periaatekuva stabilointilaattaelementtien käytöstä. (Matela 2005a)



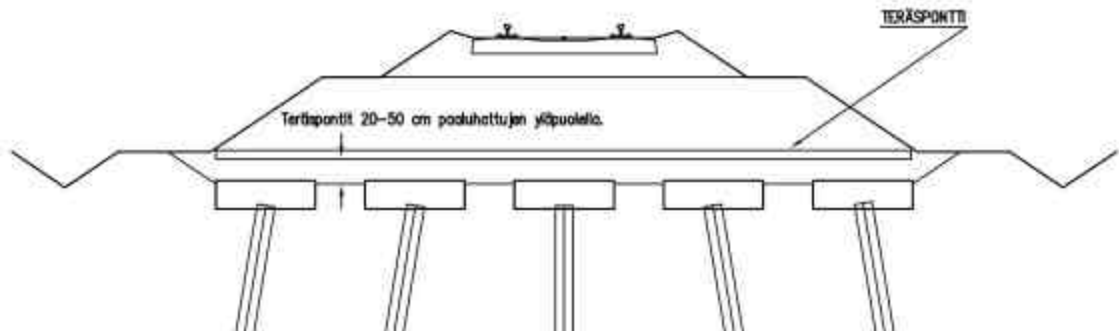
Kuva 5.7. Stabilointilaattaelementti. (Matela 2005a)

Menetelmää on ehdotettu rantaradalle tehtyjen kevytsorakorjausten jatkotoimenpiteeksi. Menetelmää on jo käytetty esimerkiksi Lemunsuo II:n alueella rantaradalla (Helsinki-Turku) vuonna 1995. Korjaustyötä vaikeuttivat raidevarausten lyhytydet. Normaalijärjestelyin saatiin raidevarauksen pituudeksi yöaikaan noin 6 tuntia. Näin ollen työsaavutukseksi saatiin yötä kohden noin 10-20 metriä. (Merinen 2005)

5.3.2 Teräsponttilevyn vaakaponttaus

Teräsponttilevyn vaakaponttaus on Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelun Esko Matelan ja Jorma Pesosen aloite. Rataa ei tarvitse kaivaa auki, jotta pontit voitaisiin asentaa. Teräspontit lyödään 20-50 cm paaluhattujen yläpuolelle vaakasuoraan pontteihin lyötyinä. Periaatekuva menetelmästä on esitetty kuvassa 5.8. Pontin alapintaan voidaan asentaa rei'itetty teräsputki. Teräsputkeen pumpataan polyuretaanivaahtoa tyhjiötilojen täytteeksi ja hatturakojen tukkimiseksi. Menetelmää voidaan käyttää hyvin lyhyilläkin raidevarauksilla. Ongelmia voi syntyä, mikäli paaluhattut ovat jo rakentamisvaiheessa asennettu eri tasoille. Lisäksi yksittäisiä paaluhattuja on saattanut kallistua voimakkaasti, jolloin paaluhattun reuna voi olla jopa 40 cm teoreettista asemaansa ylempänä. Leveisiin penkereisiin ponttia ei pystytä asentamaan. Penkereen käyttäytymisestä pontin lyö-

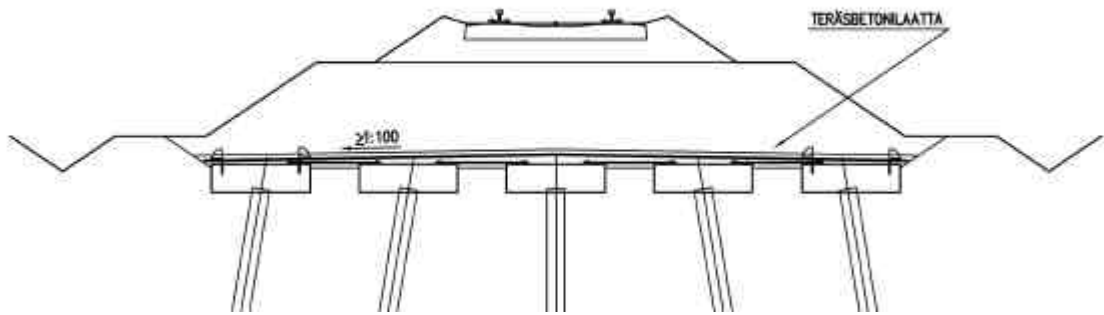
misen aikana ei ole tietoa. Paaluhattujen korkeuseroista ja pontin asennustoleranssista johtuen paaluhattujen ja pontin väliin saattaa jäädä paljonkin maata. Tällöin väliin jäävän maan käyttäytymistä ei voida ennustaa kun maa painuu vanhojen paaluhattujen välissä. Rakenteen mitoittaminen on vaikeaa ja vaakaponttilevyn täryttäminen saattaa vähentää holvauksen toimivuutta. (Matela 2005a, Merinen 2005)



Kuva 5.8 Korjaus teräsponttilevyn avulla. (Matela 2005a)

5.3.3 Elementtien päälle valettava teräsbetonilaatta

Elementtien päälle valettava teräsbetonilaatta on astetta raskaampi korjausmenetelmä. Teräsbetonilaatta voidaan mitoittaa rakenteellisesti. Rata kaivetaan auki siten, että paaluhattut saadaan esiin. Hatut käytetään pois paikoiltaan ja tyhjätilat täytetään ja tiivistetään. Mikäli yksittäinen paaluhattu on keskimääräistä korkeustasoa ylempänä, katkaistaan paalun yläpää sen verran, että kaikki paaluhattut saadaan keskimääräiselle korkeustasolle. Paaluhattujen yläpäästä pestään puhtaaksi tartunnan parantamiseksi ja hattujen päälle valetaan yhtenäinen raudoitettu teräsbetonilaatta nopeasti kovettuvalla betonilla. Täyttötyöt pyritään aloittamaan mahdollisimman pian (noin 15 h valusta kesäolosuhteissa) laatan saavutettua riittävän lujuuden. Laatta kallistetaan poikkisuunnassa laskemaan keskeltä molempia reunoja kohti. Raidevarauksen pituus määräytyy rakennustöiden ja betonin kovettumisajan perusteella. Kuvassa 5.9 on periaate esitetty. (Parkkila 2005)



Kuva 5.9. Korjaus teräsbetonilaatan avulla. (Parkkila 2005)

Menetelmä on suhteellisen kestävä. Toisaalta se on melko kallis ja vaatii pitkän raidevarausajan. Menetelmän soveltuvuus riippuu paljon siitä, onko ratapenkereen aukikaivu ja täyttö helppo ja nopea toteuttaa vai joudutaanko kaivu- ja täyttömateriaaleja kuljettamaan pitkiä matkoja ratapengertä pitkin. Maamassojen kuljetuksilla on suuri vaikutus kokonaiskustannuksiin.

5.3.4 Paaluhattujen korjaus teräsbetonilaatan avulla UPAS-jonon alla

Teräsbetonilaattamenetelmää voidaan kehittää vähemmän junaliikennettä häiritseväksi siten, että valu tehdään UPAS-jonon alla. UPAS eli uusi pienapasilta on kehitteillä oleva innovaatio, jossa junaliikenne voidaan ohjata työmaan yli apusiltaja pitkin. Näin ol-
len tarvittavat raidevaraukset saadaan lyhyemmiksi, koska junaliikenne voi ohittaa rakennuspaikan apusiltaja pitkin. Menetelmässä lyödään 10 metrin välein UPAS-10:n tukipaalut. Näiden tieltä tulee poistaa uloimmat paaluhatut. Kaivutyöt, UPAS:in poikkikannattajien ja UPAS-kannattajien asennus tehdään raidevarausten aikana. Teräsbetonilaatan valu tehdään kuten on edellä esitetty. Tällöin liikenne voi kulkea UPAS-
apusiltaja pitkin. UPAS-rakenteiden poisto ja täyttötyöt tehdään raidevarausten aikana. UPAS-menetelmä on esitelty tarkemmin paalulaattojen rakentamisen yhteydessä kapaleessa 7.2 (s. 80). UPAS-menetelmää voidaan hyödyntää myös muissa korjausmenetelmissä. (Matela 2005a)

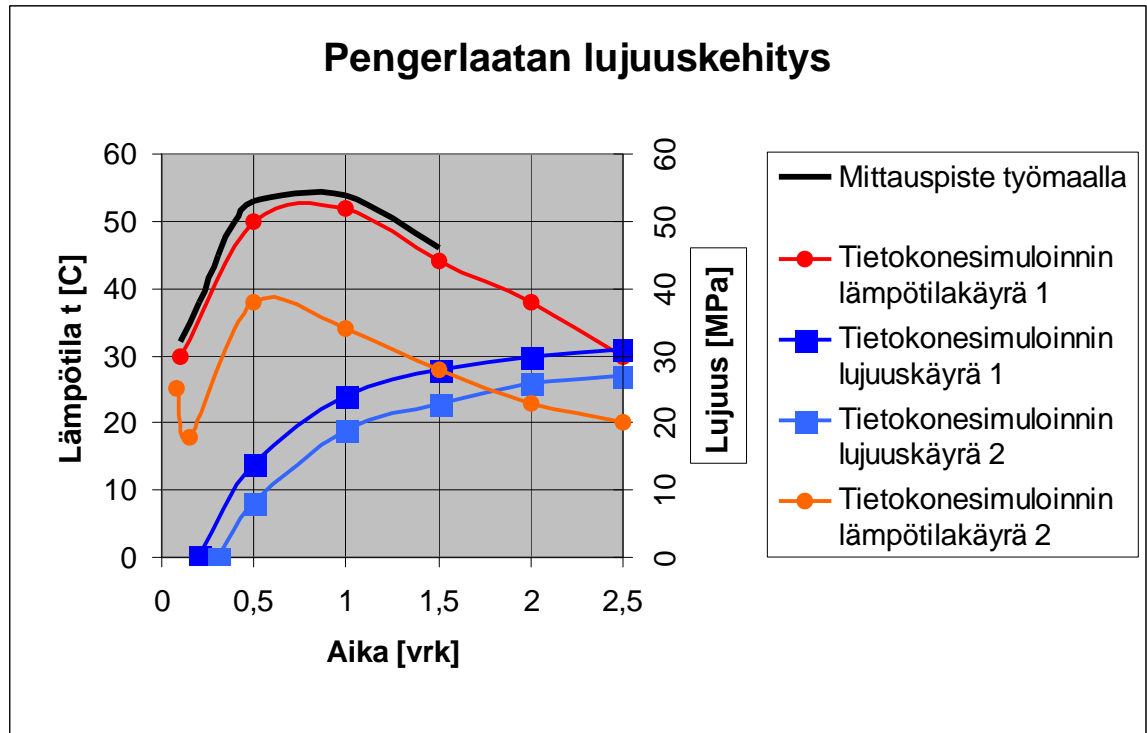
6 PAALULAATAN RAKENTAMINEN: TOTEUTETUT MENETELMÄT

6.1 Yleistä

Pengerlaattojen rakentamistapoja ja rakenneratkaisuja arvioitaessa on tärkeimpänä kriteerinä käytettävissä olevan raidevarauksen pituus. Lisäksi on otettava huomioon, onko rataosa yksi- vai kaksiraiteinen ja voidaanko liikenne järjestää vain toista raidetta pitkin sekä miten jännitekatkoja on mahdollista saada arkipäivinä/viikonloppuisin. Mikäli rataosalla on mahdollista saada n. 40 tunnin yhden raiteen jännitekatko ja raidevaraus, paalulaattarakenteeksi voidaan valita kesäkautena rakennettava paikallavalulaatta. Tavallinen, jälkivaluton ja ankkuroimaton kolmen paalun elementtilaattavaihtoehto on kalliimpi ja toiminnallisesti huonompi. Elementtilaatasta ei pystytä käyttämään vino-paaluja, täyttömateriaali saattaa vuotaa elementtien saumoista ja paalujen päitä ei saada tukeutumaan koko pinta-alaltaan elementin pohjaan. Lisäksi vinoon kääntyneet paalut saattavat ajan myötä luistaa sivuun maaperässä, jossa on heikko sivuvastus. (Matela 2005a)

Paikalla valettavan pengerlaatan on edullisinta olla massiivilaatta ilman leikkausraudoitusta. Kesäolosuhteissa betoni on suhteutettava ja lämmitettävä siten, että se saavuttaa noin 15 tunnin kuluttua valun loppumisesta lujuuden K20. Tällöin pengertäyttö voidaan aloittaa täyttömateriaalia laatan päälle vyöryttäen, kunhan varmistetaan, etteivät kuorma-auton pyörät kuormita suoraan pengerlaattaa. Tämä lujuusvaatimus on massan suhteituksen, lämmityksen ja suojaustarpeen kannalta määräävin. Laatan lujuuden on oltava vähintään K32, kun raideliikennekalusto kuormittaa laattaa. Tämä lujuus saavutetaan kesäolosuhteissa noin 24 tunnin kuluttua valun loppumisesta. Laatan loppulujuusvaatimus on K40. Edellä mainittu menettely edellyttää n. 2 vrk:n mittaista raidevarauksia sekä valuolosuhteiden ja betonin suhteutustietojen mukaisia tietokonesimulointeja sekä betonin lämpötilan ja lujuuden kehittymisen seuranta laatan betonivalun yhteydessä. Lämpötilaseuranta käytetään työmailla yleensä hyvin vähän, tässä työtavassa se on kuitenkin pakollista. Massiivilaatasta nopea kovettuminen aiheuttaa lämmön nousua, josta ei ole sementin nykyisellä jauhatuksella olennaista haittaa kunhan laatta pidetään peittämällä mahdollisimman tasalämpöisenä. Tarvittaessa valualustalle asennetaan eristeksi pakkasmatto viileissä olosuhteissa. Nopea kovettuminen saadaan aikaan

notkistavilla lisäaineilla ja massan lähtölämpötilan noston avulla. Kuvassa 6.1 on esitetty kuvaaja pengerialueen lujuuskehityksestä. (Matela 2005a, Matela 2005b)



Kuva 6.1. Pengerialueen lujuuskehitys. (Matela 2005a)

Kuvan 6.1 perusteella valvoja voi tarkastaa, pystytäänkö pengertäytöt aloittamaan 24 tunnin kuluttua valusta. Tällöin lujuuden tulisi olla yli 20 MPa.

Uuden paalulaatan rakentamisessa liikenteen alaisella raiteella toteutettuja menetelmiä ovat siltamainen elementtirakenteinen paalulaatta (Ermanninsuo), neljän paalun laatta-elementti vinopaaluja ja jälkivaluja käyttäen (Koivukylä) sekä paikalla rakentaminen raidevarauksen aikana (Arolampi). Kaikki kustannukset on laskettu ilman ratatöitä ja oletettuna paalupituutena on 10 metriä.

6.2 Pitkittäispalkkien päällä poikittaiset elementtilaatat (tyyppiä Ermanninsuo)

6.2.1 Yleistä

Ermanninsuon rataoikaisu sijaitsee Toijala-Turku –rataosalla välillä Matku - Humppila Km 180+500-183+300. Rataoikaisu on rakennettu vuonna 1994. Oikaisun kohdalla maaperä on erittäin pehmeää savea ja turvetta. Paaluhattuja on rakennettu rataoikaisun alkuosalle välille Km 180+880-180+920 vanhan ratapenkereen leventämiseen. Välille Km 181+147–181+298 on rakennettu kahden paalurivin sienilaattaa, Km 181+298-181+536 kolmen paalurivin sienilaatta, Km 182+061-182+781 on kahden paalurivin sienilaatta. Työselityksen mukaan Ermanninsuon oikaisulle paalulaattatyypiksi valittiin sienilaatat, koska niiden ajateltiin soveltuvan parhaiten kyseisen kohteen pohjaolosuhteisiin. Sienimäinen laatta vaati vähemmän maaleikkaustöitä kuin muut kohteeseen soveltuvat laattatyypit. Sienilaatta oli suunniteltu rakennettavaksi ”Pengerpaalut”-ohjeen (VR & SITO 1994) tyyppipiirustuksen mukaan. (SITO 1994)

Ermanninsuon oikaisulla havaittiin lisääntyneitä kunnossapidon tarvetta ja sähkörata-pylväiden kallistelua muutama vuosi rakentamisen jälkeen. Tällöin alettiin epäillä laatan toimivuutta. Ensimmäinen epäily oli, että laatan reunat olisivat murtuneet ajojohtopylväsperustuksia paalutettaessa. Paalulaattaa tutkittiin koekaivuilla ja kairauksilla sekä laatan aukisahauksella. (Kulman 2005, Matela & Kulman 2004)

6.2.2 Vanhan laatan vauriokuvaus

Penkereen sivusta tehtyjen koekaivujen ja kairausten perusteella paalulaatan reunaulokkeen todettiin paikoin murtuneen noin metrin etäisyydeltä laatan ulkoreunasta. Murtumisen seurauksena uloke on painunut eli kiertynyt murtokohdan ympäri. Laatan keski-kohtaa ei voitu kaivaa esiin junaliikenteen takia, mutta tehtyjen koetinkairausten perusteella oletettiin, että myös laatan keskialueella on huomattavia vaurioita.

Perusteellisempi esiinkaivu tehtiin lokakuussa 2004. Laatasta otettiin koekappaleita ja laattaan porattiin reikiä laatan paksuuden ja sienien sijainnin ja kunnon toteamiseksi. Lisäksi laattaan sahattiin aukko sieniosan reunasta. Aukikaivun aikana oli todettavissa, että paalulaatta oli painunut raiteen eteläpuolelle viettäen kaltevuuteen 1:7. Painuneen

reunan paalut olivat rikkoneet raudoittamattoman sienipaksunnoksen ja lävistäneet raudoitetun laatan (kuva 6.2). Laatta oli pirstoutunut pahoin lävistyneiden paalujen kohdilta koko aukaisupituuden matkalta. Laatan painuneen osan puoleista uloketta ei tutkittu, koska se oli veden alla. Paalujen ei voitu todeta olevan viallisia. Paalujen kohdalla olevan laatan paksunnos oli paksunnoksen reuna-alueella n. 50 mm irti kannesta. Ehjältäkin näyttävän laatan paksunnos oli irti kannesta ja kannessa oli raiteen suuntainen halkeama. Paksunnoksen reunat oli viistetty alaspäin suppeneviksi. Laatan toimiva paksuus oli mittausten perusteella 140-160 mm. Silmämääräisesti arvioiden betoni oli näytekohdilta tiivistä ja raudoitus oli laatan keskellä. (Matela & Kulman 2004)



Kuva 6.2. Paalu on tullut raudoitetusta laatasta läpi. (Kuva: Esko Matela)

Aukaisukohdassa sieniosan yläpinta oli sileä, joka heikensi sienin ja ylälaatan yhteistoimintaa ja monoliittisuutta. Laatan ja sieniosan irtoamiseen vaikuttaa sienin yläpinnan epäpuhtaudet kuten pöly ja hiekka. Lisäksi ylälaatan betonin kutistumisen aiheuttamat vaakavoimat pyrkivät irrottamaan laatan sieniosasta. Työsauman tekemisen perussääntöihin kuuluu, että tartuntapinnasta poistetaan sementtiliima suihkupuhdistuksella ja ennen valua tartuntapinta kastellaan. Liittyvien rakenteiden jälkimmäisen osan eli tässä

tapauksessa ylälaatan betoni on suhteutettava mahdollisimman vähän kutistuvaksi kutistusvoimien pienentämiseksi. (Matela & Kulman 2004)

Vaurion aiheuttaja on todennäköisesti ainakin tutkitulla alueella suunnittelematon työsauma laatan paksunnosten ja raudoitetun laatan välissä. Työsauman takia paksunnos toimii erillisenä raudoittamattomana rakenteena, vaikka sen pitäisi toimia yhdessä raudoitetun osan kanssa (kuva 6.3). Työsauman takia raudoitetun laatan toimiva kokonaispaksuus on noin 150 mm ja $h_0 = 70$ mm, kun sen pitäisi olla 470 mm ja $h_0 = 400$ mm. Laattaa on mahdollisesti vaurioitettu myös ulkopäin tulleilla virhekuormituksilla, kuten tiivistyskaluston käyttö ulokkeen reunaosilla, pylväasperustusten paalutustyö ja perustuksen ympärystäyttö sekä laatan päällä mahdollisesti ollut työmaatie. Virhekuormitukset eivät ole yhteydessä havaittuihin rakenteellisiin poikkeamiin, joista vaurioiden voidaan pääasiassa olettaa aiheutuneen. (Matela & Kulman 2004)



Kuva 6.3 Sieni on irronnut pintalaatasta työsauman kohdalta. Paalu on lävistänyt sienen ja sieni on haljennut. (Kuva: Mauri Kulman)

6.2.3 Kapasiteetilaskelmat

Horttanainen on tehnyt Ermanninsuon vaurioituneesta paalulaatasta kapasiteetilaskelmia. Paalulaattarakenne on mitoitettu tarkasti kestäämään vaadittu suunnittelukuorma. Ylimääräisiä varoja ei ole. Paikoitellen sekä paalut että laatta ovat jopa hieman alimitoitettut, mutta ei siinä määrin, että tällä olisi vaikutusta ehjän rakenteen kestävyYTEEN. Taulukossa 6.1 on esitetty suunnitelman mukaisen paalulaatan ja työsaumallisen eli vaurioituneen paalulaatan kapasiteetilaskelmat. (Horttanainen 2005)

Taulukko 6.1. Ehjän ja vaurioituneen laatan kapasiteetilaskelmat kantokykyyn nähden (rasitus/kapasiteetti). (Horttanainen 2005)

	Läpileikkautumisen kapasiteetti	Taivutuskestä- vyys tuella	Taivutuskestävyys kentässä
Suunnitelman mukainen paalulaatta	120%	140%	110%
Paalulaatassa työvirhe	165%	400%	110%

Taulukossa 6.1 prosentit kuvaavat rasituksen suhdetta kapasiteettiin eli 100%:n ylitys kertoo rasituksen olevan sallittua suurempi. Paalulaatan toteutustavalla on rakenteen kestävyYDEN kannalta suuri merkitys. Sienen ja laatan väliin tehdystä työsaumasta voi aiheutua erilaisia vauriomekanismeja. Esimerkiksi työsauman liian sileä pinta tai siinä valuvaiheessa olleet epäpuhtaudet voivat aiheuttaa riittämättömän tartunnan, jolloin sieni ja laatta eivät toimi suunnitellulla tavalla yhtenäisenä rakenteena. Työsaumallisen paalulaatan taivutuskestävyys tuella eli paalun kohdalla ylittyy moninkertaisesti kapasiteettiin nähden. Tämä aiheuttaa paalujen kohdilla laatan terästen ja laatan betonirakenteen taivutusmurtuman. Vaurioituneet teräkset ja murtunut laatta johtaa myös riittämättömään laatan lävistyskapasiteettiin. Näin ollen työsaumallisen sienilaatan vaurioituminen on ollut väistämätöntä.

6.2.4 Uuden laatan rakentaminen

Ermanninsuolla on ollut mahdollista kokeilla erilaisia paalulaatan rakentamistapoja. Uudet paalulaatat on numeroitu siten, että 1. laatasto on paaluhattu-alue kilometrivälillä 180+800-180+920. 2. laatasto on sienilaatta kilometrivälillä 181+147–181+536, jossa

Uusi pengerlaatta rakennetaan kokonaisuudessaan irti vanhasta laatasta. Ensin tehdään paalutus radan molemmin puolin. Teräsputkipaalut toimivat tukipaaluina ja siirtävät kuorman kallioon tai tiiviiseen moreenimuodostumaan. Paalujen varaan rakennetaan pitkittäispalkit paikallavaluna. Pengerlaatta koostuu siten laatan reunoilla olevista paikallavalettavista pituussuuntaisista palkeista ja näiden varaan ladottavista 1 m leveistä poikittaisista elementtilaatoista. Pituussuuntaisen palkin muotti suunniteltiin alunperin asennettavaksi putkipaalujen varaan. Työmaalla tehtyjen koekuormitusten perusteella päädyttiin pitkittäispalkin muottien maanvaraiseen perustamistapaan. Pitkittäispalkkien tekeminen edellyttää palkin ja raiteen väliin tukiseinän tai sitä korvaavan rakenteen tekemistä. Paalut kiinnitetään jäykästi radan pituussuuntaisiin palkkeihin. Paalutus ja pituussuuntaisen palkin muotin asennus tehdään liikenne- ja jännitekatkojen aikana. Pitkittäispalkkien päälle asennetaan elementtilaatat joko nosturilla, kun rata on kaivettu auki, tai tunkkaamalla penkereen läpi. Laatan yläpinnan tulee olla vähintään tasossa kv – 550 mm. (Matela 2005a, Luokkakallio & Mantere 2004)

Tukiseinärakenteiden vaihtoehtoja ovat (Matela 2005a):

- perussuunnitelmassa esitetty maanpainetta kestävä, putkipaaluihin tukeutuva pitkittäispalkin U-tyyppinen kuorielementti (ei käytetty)
- vanhan laatan yläpintaan ankkuroitu teräksinen tukiseinäkasetti, joka oli urakoitsijan esittämä vaihtoehto (käytettiin 1. urakassa)
- alueella, missä ei voitu käyttää edellistä vaihtoehtoa (laatan sortunut osa) käytettiin 1. urakassa tukiseinässä ulkoista tuentaa vanhoja laiturielementtejä apuna käyttäen
- 2. urakassa käytettiin urakoitsijan esittämää vaihtoehtoa, jossa maanvaraisiin, teräskuorisiin elementteihin on lisätty reunoille teräsholkit, joihin asennetaan maanpainetta ja valupainetta kestävät raiteensuuntaiset seinäelementit.

Viimeinen esitetyistä vaihtoehtoista on selvästi paras esiin tulleista tukiseinävaihtoehtoista. Lisäksi tässä vaihtoehdossa on se etu, että kun seinäelementit nostetaan pois ja maanvaraiset elementit vedetään pois, saadaan pitkittäispalkkien alle perusmaan routimisen edellyttämä tyhjätila, joka muissa vaihtoehtoisissa oli aikaansaattava erikoiskaivuria apunakäyttäen.

Radan aukikaivu ja elementtien nosturiasennus

Rata kaivetaan auki ja elementit asennetaan pitkittäispalkkien päälle nosturilla (kuva 6.5). Työsaavutukseksi on saatu keskimäärin 20-50 elementtiä (elementin leveys 1 m)

työvuorossa eli parhaimmillaan noin 6 tunnin raidevarauksen aikana noin 50 metriä. Varsinaiseen elementtien asentamiseen raidevarausajasta on käytetty noin 2 tuntia. Menetelmän vaatima raidevaraus oli saatavissa vain kerran viikossa viikonloppuna. (Mäki 2005)



Kuva 6.5. Elementtien nosturiasennusta Ermanninsuolla. (Kuva: Esko Matela)

Elementtien tunkkaaminen

Elementtien tunkkaaminen raiteen läpi on uusi menetelmä, jota on kokeiltu ensimmäisen kerran Ermanninsuolla (kuva 6.6). Elementit tunkataan penkereen läpi ”tulitikkulaatikkoperiaatteella”. Raidetta ei tarvitse kaivaa auki. Ongelmana on ollut tukikerroksen löyhtyminen tunkkauksen seurauksena ja kiskojen nouseminen, joka edellyttää raiteen tuentaa. Sepelipatja ei pysy paikallaan tunkkauksen aikana. Ermanninsuolla korjattiin tunkkausmenetelmällä 80 metrin matka. Menetelmän paras työsaavutus oli 2 elementtiä työvuoron aikana, joka on hidas nosturiasennukseen verrattuna. Toisaalta tunkkausmenetelmän etuna on, että sitä voidaan tehdä lyhyissä raidevarauksissa. Menetelmää tullaan kehittämään tulevaisuudessa. (Mäki 2005)



Kuva 6.6. Elementtiä tunkataan penkereen läpi. (Kuva: Erkki Mäki)

Rakentamiskustannuksiksi arvioitiin työn alkaessa noin 5000-8000 €/raidemetri. Tällä hetkellä kustannusarvioksi on päivitetty noin 6800 €/raidemetri. Hinta riippuu käytetystä menetelmästä ja saatavilla olevista raidevarauksista. Taulukkoon 6.2 on koottu tärkeimmät perustiedot Ermanninsuon paalulaatasta. (Matela 2005a)

Taulukko 6.2. Pitkittäispalkkien päällä poikittaiset elementit -menetelmän perustiedot.

Menetelmän erityisvaatimukset	<ul style="list-style-type: none"> -Pitkittäispalkit paikallavaluna, voidaan valaa myös talvikautena -Kansielementit tartuntajänteisiä elementtilaattoja, asennus kesä kautena -Elementtilaatat asennetaan nosturilla tai tunkataan penkereen läpi -Elementtilaattojen yläpinta kv -550 mm tai alempana
Vaadittu raidevarausaika	< 6 h
Rakentamiskustannukset	n. 6800 €/raidemetri

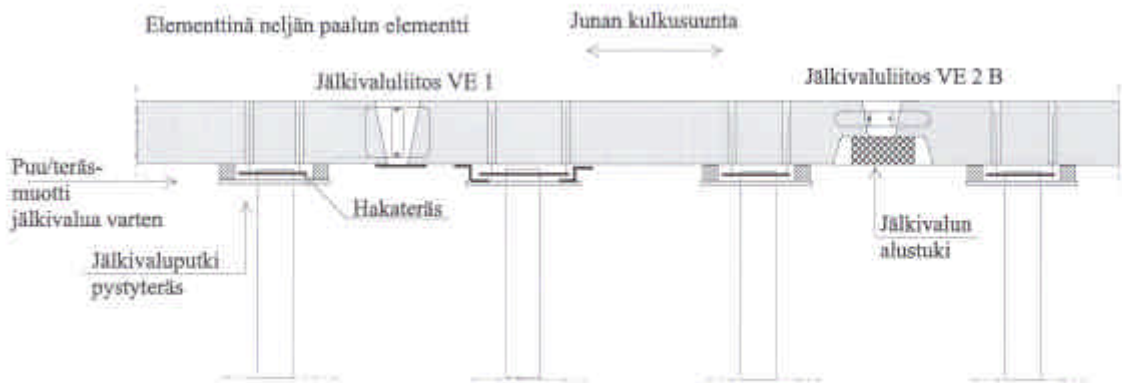
Tulevaisuuden suunnitelmia

Elementtipaalulaatan reikälaattavaihtoehtoa suunnitellaan alueelle, missä on nykyisin kolme paaluriviä raiteen poikkileikkauksessa. Reikälaattamenetelmä on esitetty kappaleessa 7.2.2. Tunkkaukseen kehitellään parannettua menetelmää, jossa penkereen liikkeet ja raiteessa tapahtuvat vaaka- ja pystygeometriamuutokset olisivat mahdollisimman vähäisiä.

6.3 Neljän paalun laattaelementti (tyyppiä Koivukylä)

6.3.1 Pengerlaatan/sillan taustalaatan rakentaminen

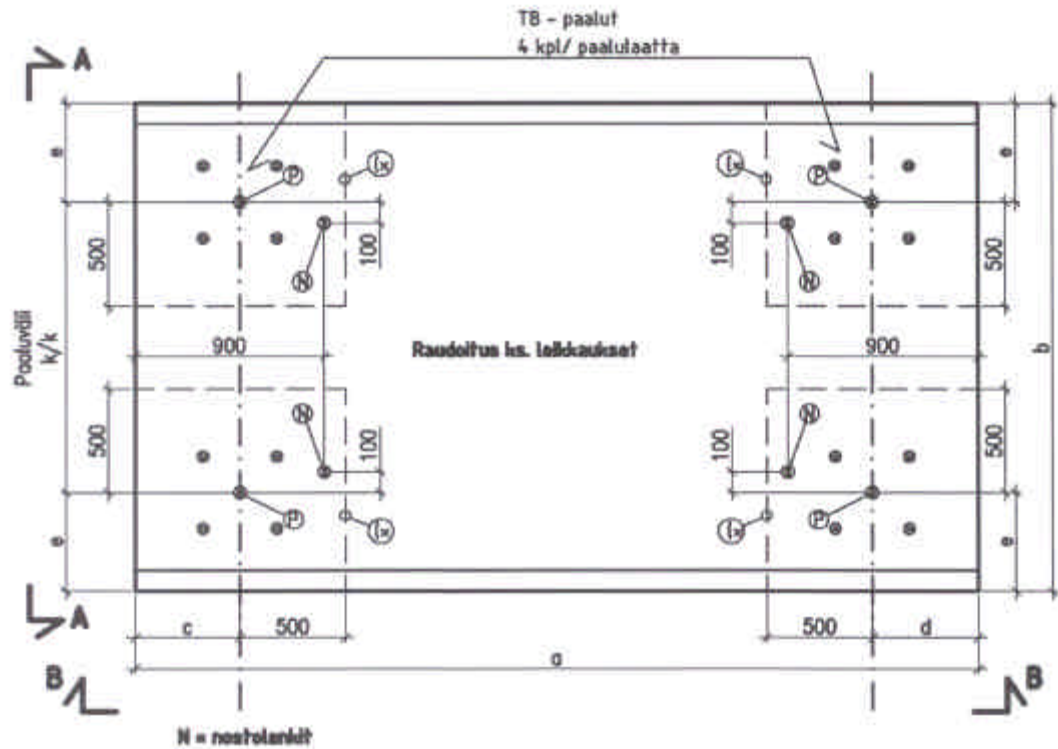
Neljän paalun laattaelementti –menetelmää jälkivaluliitoksella (kuvassa 6.7 vaihtoehto 1) on käytetty mm. Koivukylässä.



Kuva 6.7. Neljän paalun laattaelementti. (Matela 2005a)

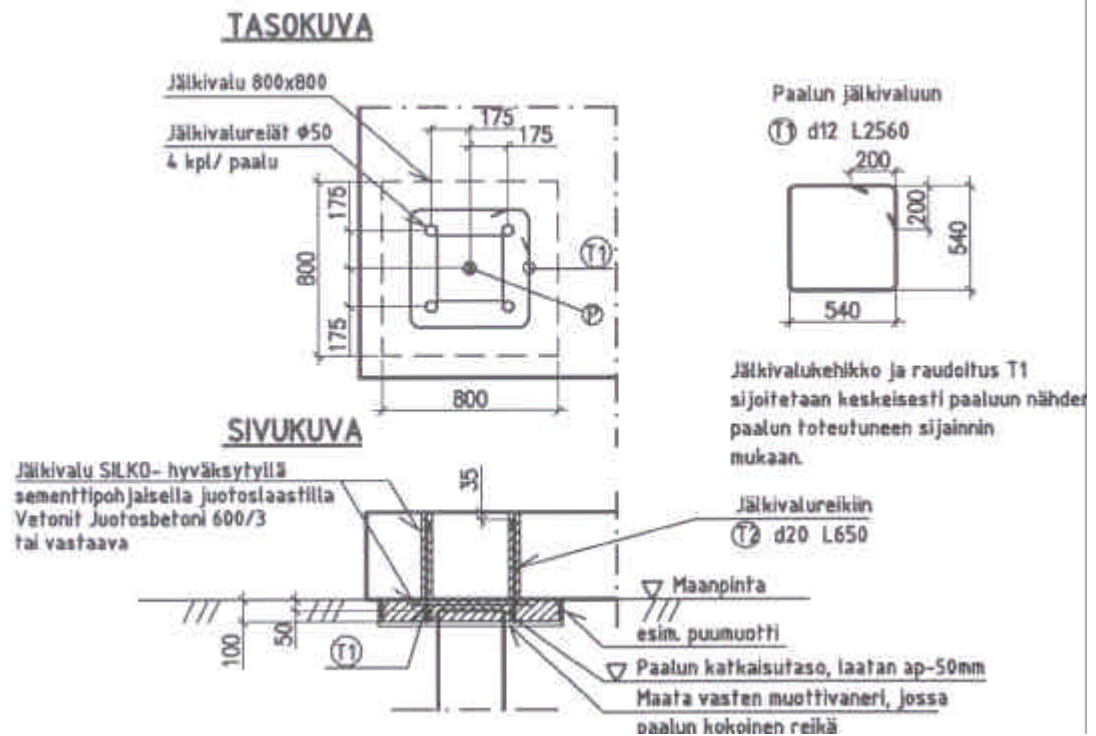
Neljän paalun laattaelementtirakenteessa paalut ovat pysty- ja vinopaaluja. Paalun kohdalla on laatan alapinnan uritus molempiin suuntiin vaakavoimien vuoksi. Paalun ja laatan juotosvaluilla sekä laattaelementtien jälkivaluilla saadaan elementeistä jatkuva, paikallavalmu vastaava paalulaatta. Elementtien sitominen jälkivalulla toisiinsa helpottaa paalulaatan vaakavoimien ja paalutusten suunnittelua. Lisäksi yhtenäisessä laatussa ei tapahdu sepelin jauhautumista eikä tapahdu jännityshuippuja veturin ensimmäisten akselien alla, kuten yksittäisten elementtien taipuilun yhteydessä. Taipuilua on ilmennyt Ermanninsuolla tehdyissä monitorointimittauksissa (Futurtec 2005). (Matela 2005a)

Sillan taustalaattaelementit ovat em. betonielementtirakenteita, jotka sijoitetaan siltojen taustoille radan pengertäyksiin. Betonielementtirakenteet tukeutuvat neljään teräsbetonipaaluun. Kuvassa 6.8 on tasokuva taustalaattaelementeistä ja paaluista (kuvan 6.7 periaatepiirroksista tehty normaalipiirustus). Sillan taustalaattaelementtejä voidaan käyttää myös pengerlaattoina. Kuvassa 6.8 esitetty normaalipiirustus on suunniteltu siten, että laatan yläpinta on vähintään kv –1,4 m syvyydellä, jolloin rakennetta ei tarvitse mitoittaa väsytskuormituksena. (Matela 2005a)



Kuva 6.8. Tasokuva taustalaattaelementistä. (SITO)

Paalut katkaistaan 50 mm laatan alapinnasta. Paalujen kohdalle asennetaan jälkivalukehikko ja raudoitushaka kuten kuvassa 6.9. Kehikon ja teräksen asennuksen jälkeen kehikon sisäpuolinen tila valetaan elementissä olevien reikien läpi juotoslaastilla leikkausrasituksia vastaanottavaksi rakenteeksi. Peräkkäiset laatat valetaan pitkältä sivulta yhteen, jolloin ne muodostavat yhtenäisen rakenteen. (Luokkakallio & Mantere 2004)



Kuva 6.9. Neljän paalun laatan kiinnitys paaluun. (SITO)

Taustalaatat sijoitetaan 1,4-2 m syvyyteen maanpinnasta. Taustalaatat asennetaan tasoitun maan varaan, koska jälkivalun kovettumisvaiheessa elementit eivät saa painua. (Luokkakallio & Mantere 2004)

Elementtien sekä paalun ja elementin liitoskohdissa on jälkivalu. Paalut voivat olla vinopaaluja. Vaakavoimat otetaan vinopaaluille. Vaadittu raidevaraus 1-2 vrk. Jälkivalujen vuoksi elementtien asennus on tehtävä kesäaikana. Kustannukset ovat 4000 €/raidemetri. Taulukossa 6.3 on koottuna neljän paalun laattaelementtirakenteen perustiedot.

Taulukko 6.3. Neljän paalun laattaelementti -menetelmän perustiedot.

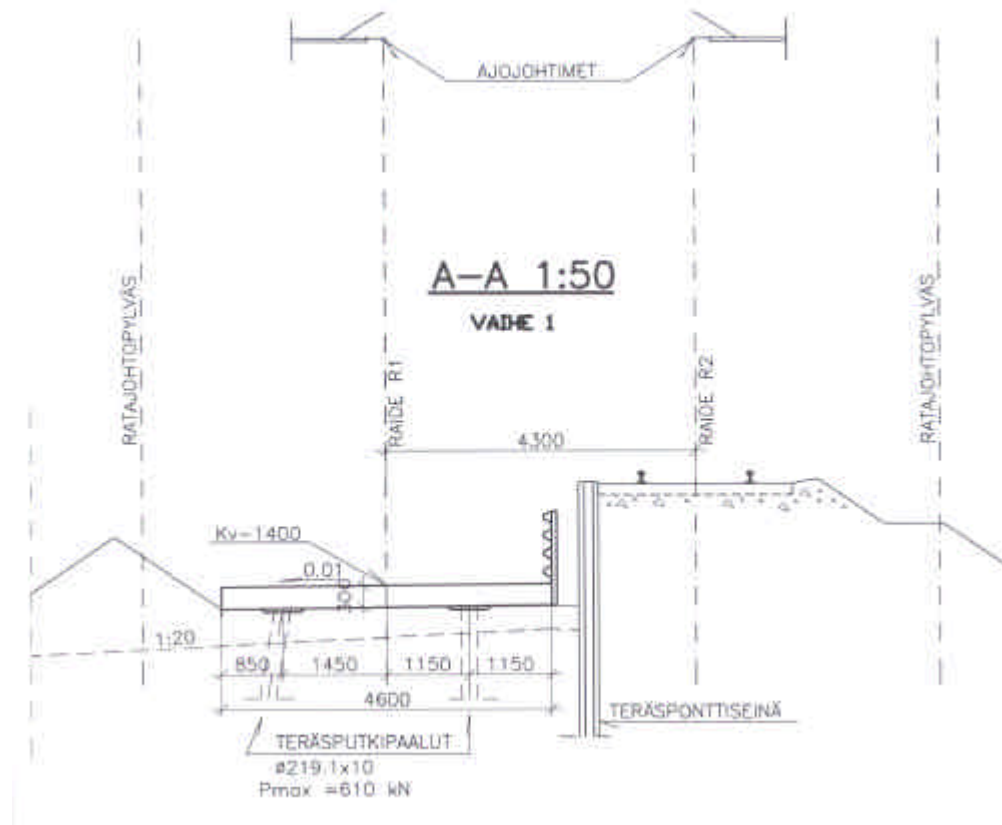
Menetelmän erityisvaatimukset	<ul style="list-style-type: none"> - Kansielementtien yläpinta noin kv –1,4 m - Elementtien sekä paalun ja elementin liitoskohdassa jälkivalu - Paalut voivat olla vinopaaluja (vaakavoimat otetaan vinopaaluille) - Jälkivalujen takia elementtien asennus kesä kautena
Vaadittu raidevarausaika	1-2 vrk
Rakentamiskustannukset	n. 4 000 €/raidemetri + isohko liikennehaitta

6.4 Paikalla rakentaminen raidevarauksen aikana (tyyppiä Arolammi)

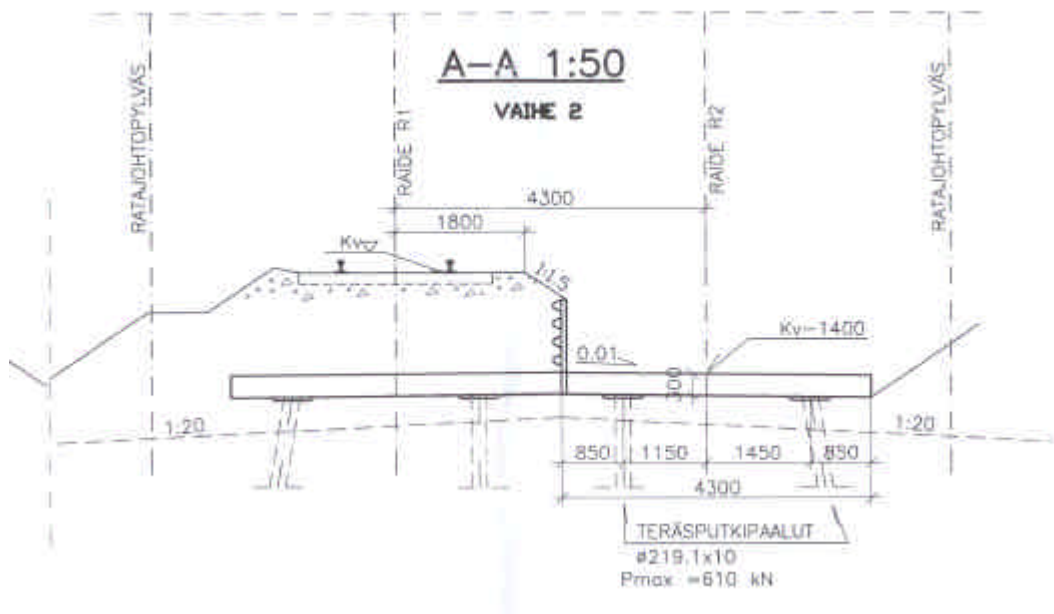
6.4.1 Laatan rakentaminen

Paikalla rakentaminen soveltuu paalulaattojen rakentamiseen lisä- tai kaksoisraiteelle. Arolammin paalulaatat Helsinki-Riihimäki -rataosalla kilometrivälillä välillä 66+258–66+897 on rakennettu kyseisellä menetelmällä. Arolammin suunnitelmat on tehty vuonna 2000. Laatta voidaan tehdä massiivi- tai sienilaattana. Laatan tekemiseen vaadittava raidevaraus on massiivilaatalle 2 vrk ja sienilaatalle 4 vrk. Massiivilaatan valut voidaan tehdä myös talvikautena, mutta ei kuitenkaan kovilla pakkasilla. Rakentamiskustannukset ovat noin 2000-2500 €/raidemetri ilman penger-, raide-, tukiseinä- ja liikennehaittakustannuksia, jos käytetään lyöntipaaluja ja noin 4000 €/raidemetri teräspaaluilla. (SITO 2000a, SITO 2000b)

Arolammin paalulaatat ovat tyypiltään tasapaksuja laattoja. Paalutustyön aikana junaliikenne on kulkenut viereisellä raiteella. Paalut on lyöty lyhytaikaisilla yhden raiteen jännite- ja liikennekatkoilla. Raiteiden väliin on rakennettu koko laataston matkalle työnäkainen tukiseinä, kuten on nähtävissä kuvissa 6.10 ja 6.11. (SITO 2000a, SITO 2000b)

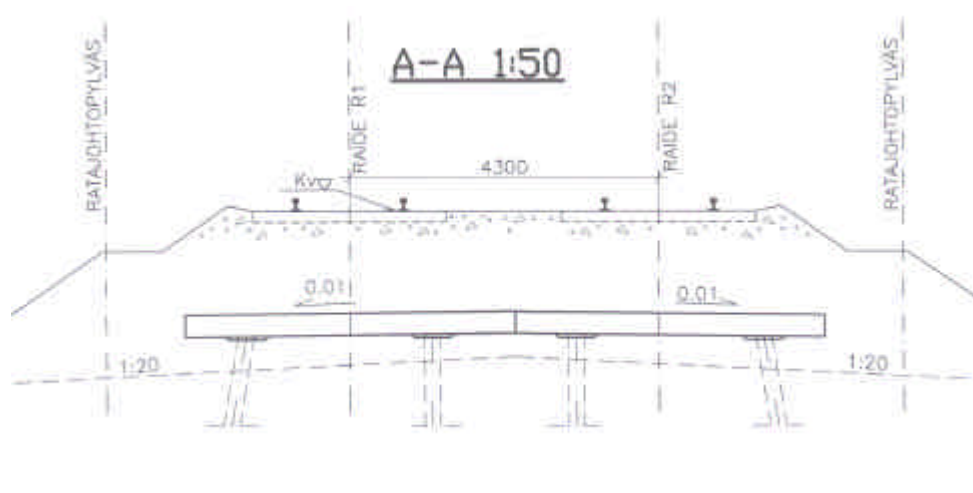


Kuva 6.10. Työvaihekuva (vaihe 1) Arolammin paikallavalettavalta paalulaatalta (SITO).



Kuva 6.11. Työvaihekuva (vaihe 2) Arolammin paikallavaletulta paalulaatalta. (SITO 2000)

Ennen viikonloppukatkoa putkipaalut on betonoitu 50 mm katkaisutason alapuolelle. Laattalohkot on raudoitettu ja valettu paikoilleen viikonloppukatkon aikana. Valmis paalulaatta on esitetty kuvassa 6.12.



Kuva 6.12. Arolammin paikallavalettu paalulaatta valmiina. (SITO 2000)

Taulukossa 6.4. on esitetty perustiedot paikallavaletusta paalulaatasta.

Taulukko 6.4. Paikallavaletun paalulaatan ominaisuudet.

Menetelmän erityisvaatimukset	<ul style="list-style-type: none"> - Lisäraiteen tai kaksoisraiteen paalulaat-toihin - Paaluina teräsbetoni- tai teräspaalu - Massiiviset valut voidaan tehdä myös tal-vikautena
Vaadittu raidevarausaika	n. 2 vrk massiivilaattana
Rakentamiskustannukset (teräsbetonipaaluilla, paalupituus 10m)	n. 2000-2500 €/raidemetri + kaksoisraiteelle tukiseinä- ja liikennehaittakustannukset

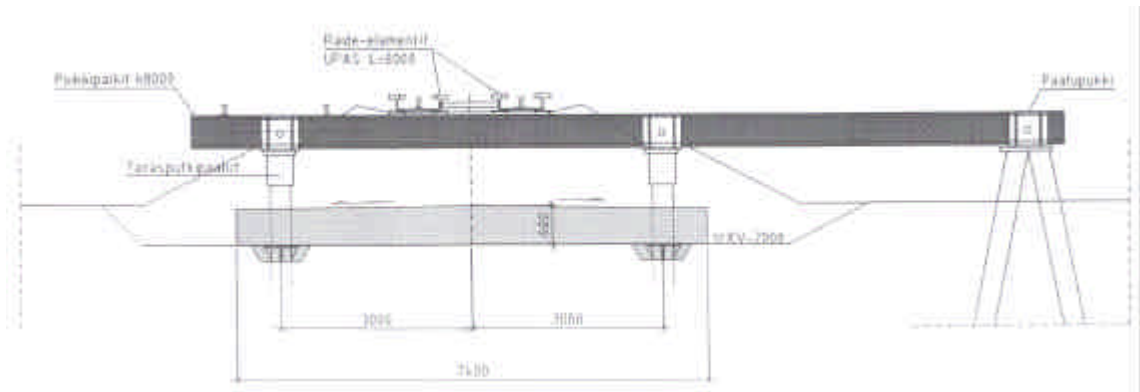
7 PAALULAATAN RAKENTAMINEN: KEHITTEILLÄ OLEVAT MENETELMÄT

7.1 Yleistä

Paalulaattojen rakentamiseksi liikenteen alaisella raiteella on kehitteillä monenlaisia menetelmiä. Tässä työssä esitellään Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelun ja SITO Oy:n kehittelemiä menetelmiä. Kyseisiä menetelmiä ei ole vielä toteutettu käytännössä. Esiteltävät menetelmät ovat paalulaatan rakentaminen UPAS-apusiltojen alla, neljän paalun laattaelementti –menetelmä, jossa paalut raiteen ulkopuolella, neljän paalun reikälaatta –menetelmä ja kolmen paalun laattaelementin uusittu versio. Kaikki arvioidut kustannukset on laskettu ilman ratatöitä ja oletuksena paalupituus 10 metriä.

7.2 Paalulaatan rakentaminen UPAS-apusiltojen alla paikallavaluna

Sillanrakentamisen apurakenteiksi UPAS-apusiltakaluston käytön alulle panijat ovat Matela ja Pesonen Oy VR-Rata Ab:n Rautatiesuunnittelusta. Suomalainen Insinööritoimisto Oy on laatinut työtapaselvityksen UPAS-rakenteiden käytöstä paikallavalettaville paalulaatoille. Paalulaatta rakennetaan UPAS-apusiltojen alla todennäköisesti massiivilaattana. UPAS-rakenteet tukeutuvat paalulaatan tukipaalujen yläpäihin. Paalulaatan ja UPAS-rakenteiden jännemitat ovat 8 tai 10 metriä. Menetelmän vaatima raidevaraus ja UPAS-kaluston asennusaika on 2-6 tuntia kerrallaan. Nopeusrajoitusaika on kuitenkin pitkä, 1-2 kk. Valut voidaan tehdä myös talvikautena, mutta ei kuitenkaan kovilla pakkasilla. Arvioidut kustannukset menetelmälle ovat n. 6000 €/raidemetri, jos apusiltojen hinta ajatellaan kuolettavaksi 10 käyttökerralla. Hinta riippuu siitä, kuinka monella käyttökerralla UPAS-rakenteiden hankintahinta saadaan kuolettua. Menetelmä vaatii lyhyen raidevarauksen, mutta menetelmän kokonaiskustannukset ovat korkeat UPAS-rakenteiden takia. Kuvassa 7.1 on esitetty poikkileikkauskuva UPAS-apusillasta ja paalulaatasta. UPAS-elementit tukeutuvat paalulaatan teräsputkipaaluhiin. (Matela 2005a)



Kuva 7.1. UPAS-apusilta ja paalulaatan rakentaminen apusillan alla (SITO).

Taulukossa 7.1 on kerrottu kootusti perustiedot paalulaatan rakentamisesta UPAS-apusillan alla.

Taulukko 7.1 UPAS-apusiltojen alla tehdyn paalulaatan perustiedot.

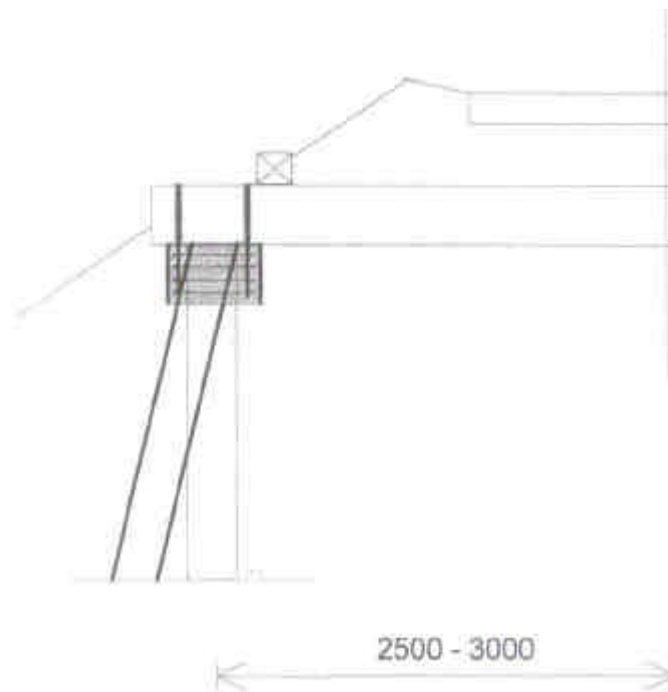
Menetelmän erityisvaatimukset	<ul style="list-style-type: none"> - Paikallavaluna UPAS-apusiltojen alla - Paalulaatan tukipaalujen yläpäihin tukeutuvat myös UPAS-rakenteet - Paalulaatan ja UPAS-rakenteiden jänne- mitat 8 tai 10 metriä - Valut voidaan tehdä myös talvikautena (ei kovilla pakkasilla)
Vaadittu raidevarausaika	< 6 h
Rakentamiskustannukset	<p>n. 6 000 €/raidemetri (UPAS-kaluston kuole- tus 10 käyttökerralla)</p> <p>n. 8 000 €/raidemetri (UPAS-kaluston kuo- letus 3 käyttökerralla)</p>

7.3 Neljän paalun laattaelementtimenetelmät

Neljän paalun laattaelementtimenetelmiä on kahdenlaisia: vanhemmassa menetelmässä paalut ovat raiteen ulkopuolella ja uusi menetelmä on ns. reikälaattamenetelmä, jossa paalut lävistävät betonielementin.

Neljän paalun laattaelementti, paalut raiteen ulkopuolella

Neljän paalun laattaelementti –menetelmä on kehitetty kappaleessa 6.3 esitetystä menetelmästä nostamalla laatan yläpinta tasoon kv-550mm ja sijoittamalla paalut raiteen ulkopuolelle (kuva 7.2).



Kuva 7.2. Vanhempi menetelmä, jossa elementti on kiinnitetty laatan alapuolisella tuennalla (Matela 2005a)

Ensin lyödään paalut ATUn ulkopuolelle ja katkaistaan paalut tulevan laatan alapinnasta n. 5 cm alemmaksi. Paalun yläpään ja kansielementin liitoksen juotosvalua varten asennetaan teräsputki raudoituksineen valumuotiksi ja liitoksen jäykisteeksi lyhyen raidevarauksen aikana. Radan poikittaiset tartuntajänteiset elementit (pituus 6-7 m, leveys n. 2,5 m) ladotaan maanvaraisesti raiteen aukikaivun aikana. Noin 6 tunnin raidevarauksen aikana pystytään latomaan nostureilla elementtejä n. 50 m. Toisen lyhyen (n. 6h) raide-

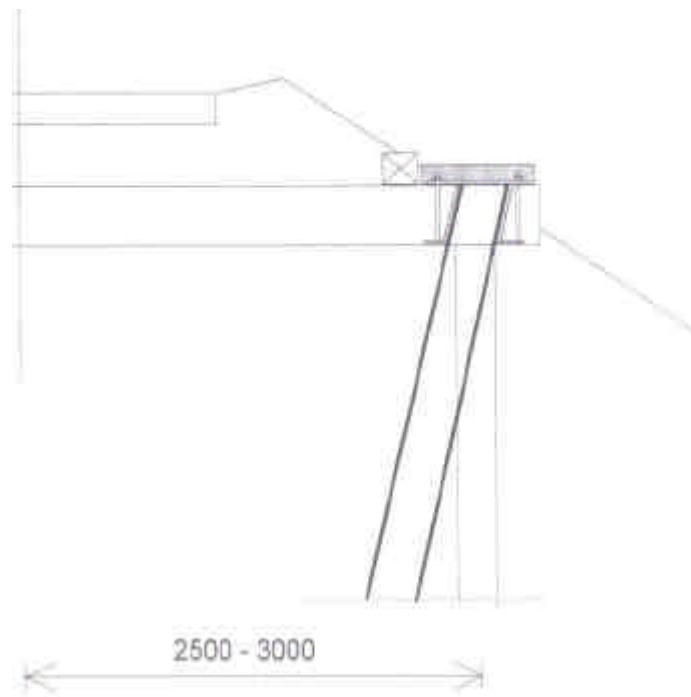
varauksen aikana paalun yläpään liitoksen juotosvalut tehdään kansielementeissä olevien valureikien (ϕ 30-50 mm) kautta. Jokaisen paalun kohdalla on valureikiä paalun sijaintitoleranssien vuoksi 8 kpl. Juotosvalun jälkeen painetaan vähintään neljään valureikään ankkurointiteräksiset liitoksen muottihylsyn alareunan tasoon saakka. Elementit on suunniteltu asennettavaksi paalujen päälle. Perustiedot menetelmästä on esitetty taulukossa 7.2. (Matela 2005a)

Taulukko 7.2. Neljän paalun laattaelementti, paalut raiteen ulkopuolella. Menetelmän perustiedot.

Menetelmän erityisvaatimukset	<ul style="list-style-type: none"> - kansielementtien yläpinta n. Kv-0,55m - paalut voivat olla teräsbetoni-, putki- tai RR-paaluja, osa vinopaaluja
Vaadittu raidevarausaika	n. 6 h (useita kertoja)
Rakentamiskustannukset	n. 3 500 – 4 000 €/raidemetri

Neljän paalun reikälaattaelementti, paalut raiteen ulkopuolella

Radan poikittaiset tartuntajänteiset elementit (pituus 6-7 m, leveys noin 2,5 m) ladotaan maanvaraisesti raiteen aukikaivun aikana tasoitetulle ja kevyesti tiivistetylle alustalle. Kuuden tunnin raidevarauksen aikana pystytään latomaan nostureilla elementtejä n. 50 m. Elementtien päissä olevien reikien läpi tehdään paalut ATUn ulkopuolelle. Paalut ovat ulos- tai sisäänpäin vinoja. Paalut voivat olla joko porapaaluja tai täytettäviä putkipaaluja, jos maaperässä ei ole kivisyyttä. Paalut katkaistaan laatan yläpinnan tasosta, raudoitetaan ja valetaan. Laatta ripustetaan teräsosilla (vetotangot + järeä teräskansi tai kierrettävä bajonettikiinnitys järeillä teräsosilla) paalun päähän (kuva 7.3). Lyhyen raidevarauksen (noin 6 h) aikana tehdään paalun ja laatan liitoksen korroosiosuojauksen jälkivalut sekä laatan reiän ja paalun raon juotosvalut. Tarvittaessa elementtien välillä teräskiinnitys raiteen ulkoreunoilla tai elementtien ponttisaumoissa juotosvalu raiteen ulkopuolelta juotettuna. Perustiedot menetelmästä on esitetty taulukossa 7.3. (Matela 2005a)



Kuva 7.3 Reikälaattaelementti. Paalut kiinnitetään elementtiin teräsosilla elementtien asennuksen jälkeen.
(Matela 2005a)

Taulukko 7.3. Neljän paalun reikälaattaelementti -menetelmän perustiedot.

Menetelmän erityisvaatimukset	kansielementtien yläpinta n. kv -0,55 m
Vaadittu raidevarausaika	n. 6 h (useita kertoja)
Rakentamiskustannukset	n. 4000-4500 €/raidemetri

7.4 Kolmen paalun laattaelementti, nopea ja uusittava versio

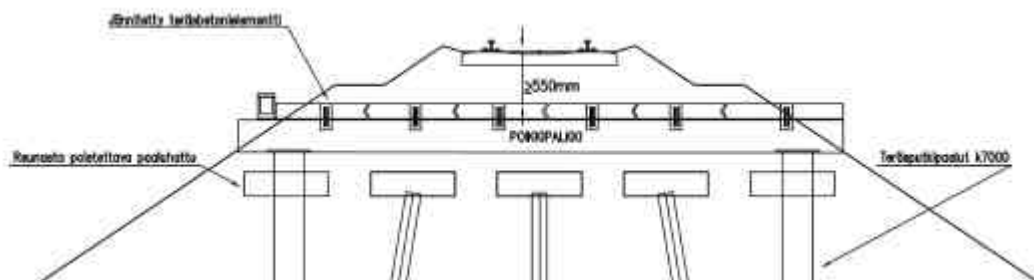
Nykyistä kolmen paalun laattaelementtityyppiä päivitetään junakuormien, maaperäparametrivaatimusten ja detaljiratkaisujen sekä käyttöedellytysten osalta. Nykyistä kolmen paalun laattaelementti –menetelmää on käytetty n. 20 kohteessa. Uudesta menetelmästä ei ole vielä enempää tietoa saatavissa. Taulukossa 7.4 on esitetty menetelmän perustiedot. (Matela 2005a)

Taulukko 7.4. Kolmen paalun uusitun laattaelementtimenetelmän perustiedot.

Menetelmän erityisvaatimukset	-kaikki paalut pystypaaluja, vaakakuormat paalujen sivuvastuksille -soveltuu vain lyhyille paalulaattajaksoille ja riittävän sivuvastuksen antavalle maaperälle
Vaadittu raidevarausaika	0,5-1 vrk
Rakentamiskustannukset	n. 3 000 €/raidemetri

7.5 Teräspalkkipaalut, poikkipalkit ja jännitetyt teräsbetonielementit

Teräspalkkipaalut lyödään sivuille vinoiksi. Poikkipalkki voidaan asentaa joko nosturiasennuksella radan ollessa aukikaivettua tai tunkkaamalla penkereen läpi. Menetelmä vaatii vähintään 6 tunnin raidevarauksen. Menetelmän kokonaiskustannukset ovat korkeat. Kuvassa 7.4 on periaatekuva menetelmästä. (Matela 2005a)

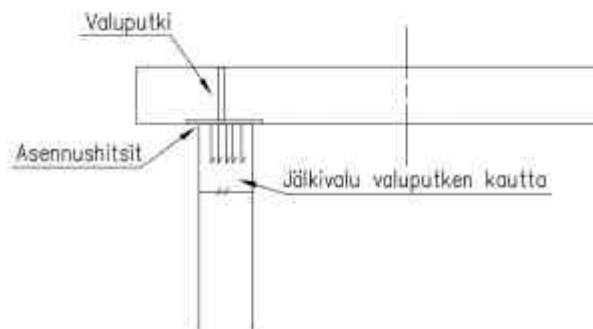


Kuva 7.4. Periaatekuva menetelmästä. Kuvassa paalulaatta on rakennettu paaluhatturakenteen päälle. (Matela 2005a)

Radansuuntaisten elementtipalkkien asennus tehdään aukikaivun ja nosturien avulla. Tappien kiinnijuotokset tulee tehdä elementtilaattojen päissä. Tarvittaessa radansuuntaiset palkit jännitetään radan poikkisuunnassa ja jänneterästen suojaputket juotetaan.

Poikkipalkkien asentaminen aukikaivulla ja nosturilla

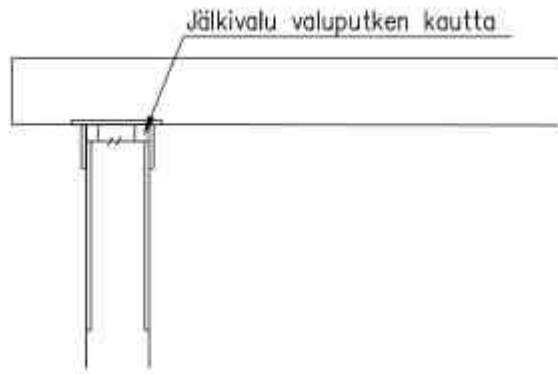
Kuvassa 7.5 on detaljikuva siitä, kun poikkipalkki on asennettu nosturilla. Jälkivalu tehdään valuputken kautta.



Kuva 7.5. Detaljikuva nosturiasennus-menetelmästä. (Matela 2005a)

Poikkipalkin asennus tunkkaamalla penkereen läpi

Raidevarauksen aikana tehdään reunan aukikaivu, terästukien asennus ja tukihylsyn hitsaus. Liitoksen jälkivalusta on esimerkki kuvassa 7.6.



Kuva 7.6. Detaljikuva tunkkaamis-menetelmästä. (Matela 2005a)

8 RAKENTAMISMENETELMIEN VERTAILU

8.1 Yleistä

Rakentamismenetelmien keskinäinen vertailu on melko vaikeaa, koska jokaiseen menetelmään liittyy pelkkien rakentamiskustannusten lisäksi paljon muitakin suoria ja epäsuoria kustannuksia. Eri menetelmät soveltuvat erilaisiin paikkoihin riippuen monista tekijöistä, mm. pohjasuhteista, työmaateistä, maastonmuodoista sekä materiaalien saatavuudesta. Kustannusvertailu on siis vain suuntaa-antavaa, mutta sen perusteella voidaan tehdä yleisellä tasolla olevia johtopäätöksiä.

Rakennuskustannusten lisäksi on huomioitava vaadittu raidevaraus, aiheutetut häiriöt junaliikenteelle, menetelmän vaatimat erityisehdot ja rajoitukset sekä menetelmään kohdistuvat mahdolliset epävarmuustekijät. Raidevaraus voi vaihdella useista päivistä muutaman tunnin kestäviin raidevarauksiin. Raidevarauksia saatetaan tarvita yksi pitkä tai useita lyhyempiä varauksia monen päivän tai jopa viikon aikana. Erityyppisten katkojen aiheuttama haitta ja kustannus on vaikea arvioida ja riippuu aina kyseisen rataosan liikennemäärästä. Erityispiirteenä voidaan mainita esimerkiksi että rakentaminen voidaan tehdä ainoastaan kesä kautena paalutuksia ja massiivivaluja lukuun ottamatta. Mikäli osa työvaiheista voidaan tehdä talvikautena, on sillä suuri merkitys kustannuksissa. Yleensä talvikautena kalustoa ja miehistöä on käytettävissä runsaasti ja sitä on saatavilla edullisesti.

Kaikissa menetelmissä pyritään siihen, että rakentaminen saadaan tehtyä mahdollisimman nopeasti ja mahdollisimman vähän junaliikennettä häiriten minimikokonaiskustannuksin. Pitkällä aikavälillä halvimaksi voi tulla rakentamiskustannuksiltaan kallis menetelmä, mikäli ongelmat ja lisääntynyt kunnossapitotarve poistuvat kokonaan kyseisellä rataosalla. Osa esitetyistä rakentamismenetelmistä on vasta kehitteillä, joten varmaa tietoa niiden kustannuksista ei vielä ole saatavissa. Toteutettujen menetelmien hinnat vaihtelevat tapauskohtaisesti. Hinnat ovat arvioita ja niihin on syytä suhtautua varuksella.

8.2 Paaluhattualueiden korjausmenetelmien vertailu

Paaluhattualueiden korjausmenetelmät on jaettu kevyisiin ja raskaisiin menetelmiin. Kevyiden menetelmien ajatellaan pitävän radan hyvässä kunnossa ilman uusia korjauksia muutaman vuoden ajan. Paaluhattualueiden ensiapuluonteisten korjausmenetelmien vertailu on esitetty taulukossa 8.1.

Taulukko 8.1. Kevyiden paaluhattujen korjausmenetelmien vertailu.

Ominaisuus	Kevyet menetelmät (kpl 5.2)	
	Tyhjätilan täyttö	Yläpintaan lujitekangas
Vaadittu liikennekatkoaika:		
2-6 tuntia	X	
6-12 tuntia		
12-24 tuntia		X
yli 24 tuntia		
Rakentamiskustannukset:		
Pieni	X	
Keskisuuri		X
Suuri		
Liikennehaittakustannukset:		
Pieni	X	
Keskisuuri		X
Suuri		
Korjausmenetelmä teknisesti:		
Helppo		X
Vaativa	X	
Erittäin vaativa		
Rata kaivetaan auki:		
Kyllä		X
Ei	X	
Korjaustuloksen kestävyys odotusarvo:		
Muutama vuosi	X	X
Kymmeniä vuosia		
Materiaalin kuljetusta:		
Vähän		
Jonkin verran	X	
Paljon		X
Tarvitaan erikoiskalustoa:		
Kyllä	X	
Ei		X

Taulukon 8.1 perusteella kevyet menetelmät ovat rakentamiskustannuksiltaan suhteellisen edullisia ja nopeita tehdä. Niiden ei kuitenkaan voida olettaa pitävän rataa hyvässä

kunnossa useita vuosia. Kevyiden menetelmien suosiminen ei välttämättä pitkällä aikavälillä tule edulliseksi. Vähän liikennöidyille rataosille, joilla rataan kohdistuva rasitus ei ole yhtä suurta kuin pääradoilla, menetelmiä voidaan ehkä suositella. Taulukossa 8.2 on esitetty paaluhattualueen raskaat korjausmenetelmät.

Taulukko 8.2. Raskaiden paaluhattualueiden korjausmenetelmien vertailu.

Ominaisuus	Raskaat menetelmät (kpl 5.3)			
	Stabilointi-laattaelementti	Teräspontti-levy	Teräsbetoni-laatta paikallavaluna	Teräsbetoni-laatta UPAS-jonon alla
Vaadittu liikennekatko aika:				
2-6 tuntia		X		X
6-12 tuntia				
12-24 tuntia	X			
yli 24 tuntia			X	
Rakentamiskustannukset:				
Pieni				
Keskisuuri	X	X	X	
Suuri				X
Liikennehaittakustannukset:				
Pieni		X		X
Keskisuuri	X			
Suuri			X	
Korjausmenetelmä teknisesti:				
Helppo	X			
Vaativa		X	X	X
Erittäin vaativa				
Rata kaivetaan auki:				
Kyllä	X		X	X
Ei		X		
Korjaustuloksen kestävyys odotusarvo:				
Muutama vuosi				
Kymmeniä vuosia	X	X	X	X
Materiaalin kuljetusta:				
Vähän				
Jonkin verran	X	X		
Paljon			X	X
Tarvitaan erikoiskalustoa:				
Kyllä	X	X	X	X
Ei				

Taulukon 8.2 perusteella jokaisessa menetelmässä on sekä hyviä että huonoja puolia, eikä mikään menetelmä varsinaisesti erotu paremmuudellaan. Teräsponttilevyn tunkaus-menetelmä on sekä edullinen että liikennehaittakustannuksiltaan pieni. Toisaalta sen toimivuudesta pitkällä aikavälillä ei voida olla täysin vakuuttuneita. Teräsbetoni-laatan valu UPAS-apusiltojen alla vaatii lyhyen raidevarauksen. Tosin nopeusrajoitusaika kyseisellä menetelmällä on pitkä. UPAS-apusiltojen yli ei voi ajaa täydellä nopeudella. Menetelmä on rakentamiskustannuksiltaan kallis, mutta liikennehaittakustannuksiltaan suhteellisen edullinen. UPAS-menetelmien hinta riippuu pitkälti siitä, miten

pian UPAS-laitteiston hankintahinta on budjetoitu kuolettavaksi. UPAS-apusiltoja ei ole vielä hankittu. Kun laitteisto on valmiina, sen käyttöhintaa rakennuskohdetta kohden laskettuna pienenee. Kaikki taulukossa 8.2 esitetyt menetelmät ovat suhteellisen uusia. Niistä ei ole paljoa käyttökokemuksia. Työmenetelmien kehittyessä kustannukset todennäköisesti laskevat. Paaluhattualue voidaan korjata rakentamalla vanhan paaluhattualueen päälle uusi paalulaatta. Nämä menetelmät on esitelty seuraavassa kappaleessa.

8.3 Paalulaattojen rakentamismenetelmien vertailu

Paalulaattojen rakentamismenetelmät on jaoteltu toteutettuihin ja kehitteillä oleviin menetelmiin. Toteutettujen menetelmien vertailua on tehty taulukossa 8.3.

Taulukko 8.3. Paalulaattojen toteutettujen rakentamismenetelmien vertailu. Paalupituudeksi oletettu 10 metriä.

Ominaisuus	Toteutetut menetelmät (Kpl 6)		
	Pitkittäispalkkien päällä poikittaiset elementtilaatat (Ermanninsuo)	Neljän paalun laattamentti, paalut raiteen alla (Koivukylä)	Paikalla rakentaminen liikennekatkon aikana (Arolampi)
Vaadittu liikennekatko aika:			
2-6 tuntia	X (tunkkausasennus)		
6-12 tuntia	X (nosturiasennus)		
12-24 tuntia			
1-2 vrk		X	
n. 2 vrk			X (massiivilaattana)
n. 4 vrk			X (sienilaattana)
Rakentamiskustannukset (arvio):			
2 000-4 000 €/raidemetri		X (4000 €)	X (3000€)
4 000-6 000 €/raidemetri			
6 000-8 000 €/raidemetri	X (7000 €)		
Liikennehaittakustannukset:			
Pieni	(X)		
Keskisuuri	X		
Suuri		X	X
Rakentamismenetelmä teknisesti:			
Helppo			X
Vaativa	X	X	
Erittäin vaativa	(X)		
Osa valuista mahdollista talvikautena:			
Kyllä	X		X
Ei		X	
Voidaan käyttää myös vinopaaluja:			
Kyllä	X	X	X
Ei			
Vaatii jälkivaluja:			
Kyllä		X	
Ei	X		X
Soveltuu yksiraiteiselle rataosalla:			
Kyllä	X(6h)		
Ei		X	X
Soveltuu kaksoisraiteelle tukiseinän kanssa:			
Kyllä		X (36h)	X(48h)
Ei	X		
Soveltuu kaikenlaiseen maaperään:			
Kyllä	X	X	X
Ei			

Taulukon 8.3 perusteella pitkittäispalkkien päällä poikittaiset elementtilaatat-menetelmä vaatii lyhyet raidevaraukset, koska suuri osa työvaiheista voidaan tehdä raiteen ulkopuolella junaliikennettä häiritsemättä. Liikennehaitta on tämän takia korkeintaan keskisuuri. Sen sijaan menetelmän hinta on ainakin vielä tällä hetkellä erittäin korkea. Rakentamismenetelmää on kokeiltu vain kerran Ermanninsuolla. Menetelmän kehittyessä hinta todennäköisesti laskee ja menetelmän tulevaisuudennäkymät ovat lupaavat.

Neljän paalun laattaelementti -menetelmä vaatii 1.5 vuorokauden mittaisen raidevarauksen, mikä on etenkin vilkkaasti liikennöidyillä rataosilla vaikea järjestää. Toisaalta menetelmän etuna on alhaiset rakentamiskustannukset. Liikennehaittakustannukset ovat suuret.

Paikalla rakentaminen raidevarauksen aikana on perinteinen menetelmä, josta on paljon kokemuksia. Rakentamiskustannuksiltaan se on edullisin paalulaatan rakentamismenetelmä. Se vaatii pitkän raidevarauksen, joten sen ajatellaan olevan vanhanaikainen ja erittäin paljon liikennettä häiritsevä. Paikalla rakentaminen soveltuu parhaiten vähäliikenteisille rataosuuksille, jossa liikenne voidaan ohjata toisen raiteen kautta rakentamispaikan ohi.

Taulukko 8.4. Kehitteillä olevien paalulaattojen rakentamismenetelmien vertailu. Paalupituudeksi oletettu 10 metriä.

Ominaisuus	Kehitteillä olevat menetelmät (Kpl 7)				
	Paalulaatan rakentaminen UPAS-apusiltojen alla	Neljän paalun laattaelementti, paalut raiteen sivulla	Neljän paalun reikälaatta-elementti	Kolmen paalun laattaelementti, uusittava	Teräspalkkipaalut, poikkipalkit ja tbelementit
Vaadittu liikennekatko aika:					
2-6 tuntia	X (pitkä nopeusraja-aika)				
6-12 tuntia		X(12h)	X(6h)	X(6h)	X (tunkkaus)
12-24 tuntia					
1-2 vrk					
n. 2 vrk					
n. 4 vrk					
Rakentamiskustannukset (arvio):					
2 000-4 000 €/raidemetri				X(3500€)	
4 000-6 000 €/raidemetri		X(4000€)	X(4500€)		
6 000-8 000 €/raidemetri	X(6000€/8000€)				X
Liikennehaittakustannukset:					
Pieni		X	X	X	X
Keskisuuri	X				
Suuri					
Rakentamismenetelmä teknisesti:					
Helppo				X	
Vaativa	X	X	X		X
Erittäin vaativa					
Osa valuista mahdollista talvikautena:					
Kyllä	X			ei jälkivaluja	
Ei		X	X		X
Voidaan käyttää myös vinopaaluja:					
Kyllä		X	X		X
Ei	X			X	
Vaatii jälkivaluja:					
Kyllä		X	X		X
Ei	X			X	
Soveltuu liikenteen alaiselle raiteelle:					
Kyllä, tarvittava liikennekatko	X	X, 12h	X, 6h	X, 6h	X, 12h
Ei					
Soveltuu kaikenlaiseen maaperään:					
Kyllä	X	X	X(porapaaluilla)		X
Ei				X	

Taulukon 8.4 perusteella kehitteillä on runsaasti menetelmiä. Menetelmien välille on vaikea tehdä selkeää eroa vielä tässä vaiheessa. Käytännön kokemuksia menetelmien toimivuudesta ei vielä ole. UPAS-apusiltojen alla voidaan rakentaa eri tyyppisiä paalu-laattoja, mutta tässä on tarkasteltu massiivi- tai sienilaatan rakentamista. Taulukossa 8.4 esitettyjen menetelmien rakennuskustannuksilla ei ole merkittävää eroa, joten menetelmien taloudellisuus tulee parhaiten esiin vertailemalla liikennehaittakustannuksia.

8.4 Johtopäätökset

Mikäli penkereen stabiliteetti on nykyohjeiden mukaan riittävä, mutta tästä huolimatta penger painuu, rataa voidaan hoitaa lisäämällä kunnossapitoa. Mikäli painuma-alue päätetään korjata on selvitettävä miten vilkkaasti liikennöity kyseinen rataosa on ja millaisia raidevarauksia siihen on saatavilla. Lähes jokaiselle rataosalle järjestyy suhteellisen helposti noin 6 tunnin raidevaraus. Sitä pidempiä raidevarauksia on vaikea saada. Koska sillanrakennustyöt vaativat yleensä 12 tunnin raidevarauksen, kannattaa pengerpaalutustöitä ajoittaa samalle raidevaraukselle, jos silta- ja pengerpaalukohteet sijoittuvat lähelle toisiaan. Vähemmän liikennöidyille radoille tehdään myös vähemmän korjauksia, joten siinä mielessä raidevarausongelmat koskevat lähes jokaista pengerpaalukohteen korjausta tai rakentamista. Taulukossa 8.5 on esitetty eri menetelmien kustannusvertailua.

Taulukko 8.5. Menetelmien likimääräiset kustannukset jos korjataan 100 metrin mittaista aluetta.

Menetelmä	Hinta [€]	Käyttöikä
Hoito kunnossapitoa lisäämällä (10 vuoden ajan)	121 700	10 v.
Paaluhattualueen korjaus stabilointilaattaelementtien avulla	220 000	20 v.
Pitkittäispalkkien päällä poikittaiset elementit (Ermanninsuo)	700 000	100 v.
Neljän paalun laattaelementti, paalut raiteen kohdalla (Koi-vukylä)	400 000	50 v.
Paikalla valu raidevarauksen aikana (Arolammi)	300 000	100 v.

Vaikka rakentamismenetelmien suora vertailu on vaikeaa, taulukossa 8.5 on esitetty muutaman edellä esitetyn menetelmän hinta-arvio. Vertailussa on 100 metrin mittainen painuma-alue. Edullisimmaksi jää painuma-alueen hoitaminen lisäämällä kunnossapitoa. Tässä yhteydessä kunnossapidon kustannukset on laskettu 10 vuoden ajalta. Toden-

näköisesti painuma-aluetta on kuitenkin hoidettava useita kymmeniä vuosia. Kunnossapidomenetelmä ja kalusto kehittyvät, joten pitkän tähtäimen hinta-arviota kunnossapidosta on vaikeaa tehdä. Lisääntynyt kunnossapito aiheuttaa ylimääräistä liikennöintiä radalle ja kunnossapitokalusto on tällöin pois käytöstä muista kohteista. Kunnossapitoa lisäämällä ei voida täysin poistaa onnettomuusriskiä.

Paaluhattualueiden korjausmenetelmät kevyillä menetelmillä ovat edullisempia kuin paalulaatan rakentaminen. Kevyiden korjausmenetelmien rakenteellinen varmuus ei kuitenkaan ole samaa luokkaa kuin paalulaattojen. Ermanninsuon rakentamismenetelmä on vielä tällä hetkellä kallis, mutta sen hinta tulee todennäköisesti laskemaan menetelmän kehittyessä. Erilaiset tunkkausmenetelmät tulevat todennäköisesti yleistymään tulevaisuudessa, koska niiden vaatima raidevarausaika on lyhyt. Mitä nopeampi menetelmä on rakentaa, sitä pienemmäksi kokonaiskustannukset yleensä jäävät.

Menetelmien värinävaimennuskyky vaihtelee. Paalulaatan oletetaan vaimentavan värinää noin 70 % (Suomalainen 2005). Vaihtoehtoinen menetelmä värinäkohteiden poistossa on kiinteistöjen lunastus, jonka kustannukset ovat korkeat. Kiinteistöjen lunastus aiheuttaa lisäksi vaivaa ja riitaa ihmisille.

Siltojen kunnossapidossa on käytössä ajatusmalli, jossa silta joko ”ajetaan loppuun” tai korjataan pienissä erissä määrätyn väliajoin. Pengerpaalurakenteet ovat piilossa maan alla ja niille on vaikeaa, useimmiten mahdotonta tehdä ns. välikorjauksia. Näin ollen kyseinen ajatusmalli ei välttämättä sovellu pengerpaalurakenteisiin. Uusissa menetelmissä on luonnollisesti paljon epävarmuustekijöitä eikä kustannuksia voida sanoa varmasti etukäteen. Toisaalta, jos ei uskalleta kokeilla uutta, ei kehitystäkään tapahdu.

Korjausmenetelmän valinta riippuu päätöksentekoaikajankohtana käytettävissä olevista määrärahoista. Jos korjaus tai rakentaminen tehdään kunnolla, kyseinen ongelma poistuu jopa kymmeniksi vuosiksi. Ensiapuluonteiset menetelmät ovat edullisempia, mutta pohjarakenteet on korjattava uudelleen muutaman vuoden kuluttua. Näin ollen pitkällä tähtäimellä nykyhetkellä kalliskin menetelmä tulee usein edullisimmaksi.

9 YHTEENVETO

Ensimmäiset pengerpaalurakenteet tehtiin Suomen rautateille 1950-luvulla. Paaluhatturakenteiden käyttö aloitettiin 1970-luvulla ja paalulaattojen rakentaminen 1990-luvun alussa. Huomattava osa Suomen rataverkosta on rakennettu pehmeiköille, joista osalla esiintyy painumaongelmia. Tulevaisuudessa pengerpaalurakenteiden korjaaminen ja uusien paalulaattojen rakentaminen tulee olemaan tärkeimpiä radanparannustöitä. Mikäli pehmeikön painumaongelma halutaan poistaa pysyvästi ja varmasti, paalulaattarakenne on usein paras ja kestävin ratkaisu. Uusia paaluhatturakenteita ei enää rakenneta joitakin erikoiskohteita lukuun ottamatta. Paalulaattojen rakentamismenetelminä on perinteisesti käytetty eri tyyppisiä paikalla valettavia laattoja. Niiden rakentaminen vaatii pitkän rakentamisajan ja pitkän raidevarauksen. Tällä hetkellä päärataverkko on hyvin vilkkaasti liikennöity ja pitkiä raidevarauksia on entistä vaikeampi saada. Menetelmät, joiden avulla paalulaatat voidaan rakentaa lyhyissä työraoissa, tulevat saamaan yhä suuremman arvon. Nopeasti rakennettavien menetelmien kehitys on tällä hetkellä huimassa vauhdissa. Tässä työssä on esitelty tilanne vuonna 2005.

Pehmeikköjen päälle rakennetut ratapenkereet ovat painuneet koko niiden käyttöiän eli parhaimmillaan yli 100 vuotta. Painumat johtuvat penkereen huonosta vakavuudesta tai pohjamaan kokoonpuristumisesta. Penkereiden vakavuuden on todettu olevan alhaisempi kuin perinteiset suunnitteluohjeet edellyttävät. Ohjeistoja on viimeaikoina kehitetty palvelemaan paremmin vanhojen penkereiden vakavuuden laskentaa. Vakavuuden ollessa sallitun raja-arvon tuntumassa laskentatarkkuudelle asetetaan suuret vaatimukset. Pohjatutkimusten rajallisuuden ja maan epähomogeenisuuden johdosta tarkkojen vakavuuslukujen laskeminen on vaikeata. Täten yksiselitteisten päätösten tekeminen penkereen pohjanvahvistuksesta ei ole mahdollista.

Raidevarausten optimaalinen pituus on vaikeasti määritettävissä. Jos raidevarausta saadaan pidennettyä, hanke valmistuu nopeammin ja työkustannukset pienenevät. Vastavasti junaliikennöitsijälle koituvat kustannukset kuitenkin lisääntyvät. Käytännössä vilkkaimmin liikennöidyille rataosille on kohtuullisin kustannuksin saatavissa enimmillään kuuden tunnin raidevaraus. Näin ollen voidaan ajatella, että alle kuuden tunnin työraoissa tehtävät rakentamismenetelmät ovat suositeltavimpia.

Perustietoa pengerpaalurakenteista on ollut runsaasti saatavilla. Pengerpaalurakenteiden korjaus- ja rakentamismenetelmistä kirjoitettua tietoa on olemassa niukasti, mutta asiantuntijoilta tietoa on ollut saatavissa kiitettävästi. Rakentamismenetelmien vertailu on tehty yleisellä tasolla. Tapauskohtaiset erityisolosuhteet vaikuttavat merkittävästi menetelmän lopulliseen valintaan. Tämän selvityksen tulokset ovat käyttökelpoisia ratamaailmassa, jossa nopeasti rakennettavien menetelmien arvo korostuu. Esimerkiksi tiepuolella rakentamisen nopeus ei ole vielä yhtä merkittävässä roolissa kuin liikenteen alaisella raiteella. Tutkimuksen tavoitteet on saavutettu hyvin. Työmenetelmien jatkokehittelyä tarvitaan edelleen.

Johtopäätökset

Mikäli painuma-aluetta hoidetaan kunnossapitoa lisäämällä, penkereen vakavuus on pienempi kuin korjatun penkereen. Korjaamattomassa rakenteessa tapahtuu jatkuvia painumia ja painumaeroja syntyy. Lisääntynyttä kunnossapitoa saatetaan joutua tekemään jopa kymmeniä vuosia. Taloudellisten tekijöiden lisäksi lisääntynyt kunnossapito vie aikaa ja resursseja pois muista projekteista. Pysyvä korjaus, kuten paalulaatan rakentaminen, on kokonaistaloudellisesti ajatellen usein edullisin ja varmin ratkaisu.

Kaikissa esitellyissä rakentamismenetelmissä pyritään siihen, että rakentaminen saadaan tehtyä mahdollisimman vähän junaliikennettä häiriten mahdollisimman pienin kokonaiskustannuksin. Kunkin menetelmän soveltuvuus on aina selvitettävä tapauskohtaisesti. Yleisellä tasolla olevia johtopäätöksiä voidaan kuitenkin tehdä.

Paaluhattualueiden korjaus kevyillä menetelmillä on edullista ja korjaaminen voidaan tehdä suhteellisen nopeasti. Toisaalta kevyet menetelmät ovat yleensä toimivia ratkaisuja vain muutamiksi vuosiksi eteenpäin. Uusi korjaus tai lisääntynyt kunnossapitotarve saattaa tulla ajankohtaiseksi jo muutaman vuoden kuluttua korjauksesta. Näin ollen kevyet menetelmät ovat vain hetkellinen apu ja niiden käytön suosimista tulee tarkoin harkita. Vähäliikenteisille rataosille kevyet menetelmät saattavat soveltua hyvin. Vilkkaasti liikennöidyille pääradoille niitä ei kuitenkaan voi suositella parhaana mahdollisena vaihtoehtona.

Paaluhattualueiden korjaus järeämillä menetelmillä, kuten stabilointilaattaelementeillä, teräsponttilevyllä tai teräsbetonilaatalla, on kestävämpi ratkaisu kuin kevyiden menetelmien käyttö. Järeätkään menetelmät eivät kuitenkaan ole yhtä luotettava vaihtoehto kuin kokonaan uuden paalulaatan rakentaminen. Korjattu rakenne käyttää hyväkseen olemassa olevaa vanhaa rakennetta, jonka kunnosta ei ole varmuutta. Erityisesti vanhojen paalujen kapasiteetista ei ole tietoa. Paaluhattujen päälle asennettavat stabilointilaattaelementit voivat siirtyä paikoiltaan, mikäli maa paaluhattujen alla painuu. Vaikka uuden paalulaatan rakentaminen on kalliimpaa, pitkällä aikavälillä se voi kuitenkin tulla kokonaiskustannuksiltaan edullisemmaksi.

Paalulaattoja pidetään luotettavina rakenteina, vaikka muutamassa sienilaatassa on ilmennyt ongelmia. Ongelmat paalulaattojen toimivuudessa ovat johtuneet rakentamisvaiheessa tehdyistä työvirheistä, kuten esimerkiksi Ermanninsuon sienilaatassa. Ermanninsuon vaurioituneen laatan korvaaminen uudella paalulaatalla on antanut mahdollisuuksia uusien rakentamismenetelmien kehittelyyn. Raidevarauspituuden ollessa merkittävässä asemassa on kohteeseen valittu pitkittäispalkkien tekeminen raiteiden sivulla. Pitkittäispalkkien päälle on asennettu elementtilaatat joko tunkkaamalla tai nosturiasennuksella. Menetelmä voidaan tehdä lyhyissä (n. 6 tunnin) raidevarauksissa, mutta menetelmän hinta on vielä tällä hetkellä hyvin korkea. Työtapojen kehittyessä hinta todennäköisesti laskee. Menetelmä on hyvin kehityskelpoinen.

Muita aikaisemmin käytettyjä paalulaatan rakentamismenetelmiä ovat paikallavalu raidevarauksen aikana ja neljän paalun laattaelementti. Paikalla valu vaatii n. 2 vrk:n raidevarauksen, joten sen aiheuttamat liikennehaittakustannukset ovat suuret. Tulevaisuudessa paikallavalumenetelmä ei liene kovinkaan kilpailukykyinen liikenteen alaisella raiteella. Se soveltuu parhaiten uudelle tai kaksiraiteiselle rataosalle, jossa raidevaraukset eivät ole merkittävässä osassa. Koivukylässä käytetty neljän paalun laattaelementti – menetelmä vaatii myös pitkähkön (1.5 vrk) raidevarauksen, joka on saatavissa vain useampiraiteisilla rataosilla. Nopeasti rakennettaville menetelmille on siis tarvetta.

Kehitteillä olevia menetelmiä ovat paalulaatan rakentaminen UPAS-apusiltojen alla, neljän paalun laattaelementti -menetelmän kehittyneempi muoto, neljän paalun reikälaattaelementti, kolmen paalun laattaelementti –menetelmän kehittyneempi muoto sekä poikkipalkki ja teräsbetonielementeistä rakennettava paalulaatta. UPAS-apusiltoja ei ole

vielä hankittu, eikä niiden avulla rakennetuista paalulaattaratkaisuihin ole käytännön kokemuksia. Mikäli uudet apusillat toimivat käytännössä suunnitellulla tavalla, saattaa niistä tulla suuri apu liikenteen alaisella raiteella rakentamiseen. Apusiltojen avulla rakennettaessa tarvitaan vain 2-6 tunnin raidevaraus kun junat pääsevät työkohteen yli siltoja pitkin. Toisaalta menetelmä vaatii suhteellisen pitkän nopeusrajoitusajan. Samaa UPAS-rakennetta pystytään käyttämään monessa eri kohteessa, joten rakenteen hinta laskee käyttökertojen lisääntyessä.

Neljän paalun laattaelementin kehittyneemmässäkin muodossa (paalut raiteen sivulla ja laatat tukeutuvat jälkivalun kautta paaluille) vaadittu raidevarausaika on 8-12 tuntia, joka on liikenteen alaiselle raiteelle hyvin pitkä. Reikälaattaelementti, kolmen paalun uusittava menetelmä ja poikkipalkkimenetelmä olisi mahdollista tehdä alle 6 tunnin työraoissa. Nämä menetelmät, UPAS-apusiltojen alla rakentaminen sekä Ermanninsuolla käytetty menetelmä ovat todennäköisimmin parhaita tulevaisuuden menetelmiä. Kaikilla näillä menetelmillä liikennehaittakustannukset jäävät suunnilleen samalle tasolle. Tosin rakentamisen kokonaiskesto ja tarvittava nopeusrajoitusaika vaihtelee jonkin verran.

Pelkkien rakennuskustannusten perusteella menetelmiä ei ole järkevää vertailla. Varsinkin pitkällä aikavälillä ajateltuna rakennuskustannukset muodostavan vain osan kokonaiskustannuksista. Kuten jo edellä on mainittu, menetelmät jotka vaativat yli 6 tunnin katkon eivät sovellu kovin hyvin liikenteen alaiselle raiteelle. Ulkomailla, ainakin Italiassa, on kehitetty betoneja, joilla päästään huomattavasti lyhyempiin työaikavaatimuksiin kuin nykyisin Suomessa käytetyillä betoneilla tai juotoslaasteilla. Erittäin nopeasti kovettuvien betonien ja juotoslaastien tietämyksen siirron ja tuotteiden maahantuonnin järjestyttyä, jälkivaluja vaativien työtapojen soveltuvuus paranee vaadittavien työrakojen lyhentyessä olennaisesti.

Teollisuus ei hyväksy monen päivän mittausta liikennekatkoa. UPAS-apusillan alla tehtävä paikallavalu taas aiheuttaa liikennehaittaa pitkäksi ajaksi, jopa useiksi kuukausiksi. Näin ollen pääradoille ainoa todellinen ja nopea rakentamismenetelmä liikenteen alaisella raiteella näyttää tällä hetkellä olevan nosturiasennuksella tehtävä elementtilaattamenetelmä. Sivuradoille voidaan sallia enemmän liikennehaittaa, mutta niillä ei haluta käyttää kalliita menetelmiä.

Suosituksat jatkoimenpiteiksi

Uusien rakentamismenetelmien todellinen toimivuus ja kustannustehokkuus selviää vasta työmaalla. Näin ollen lupaavilta vaikuttavia menetelmiä kannattaa kokeilla mahdollisuuksien mukaan. Uudet menetelmät ovat usein aluksi kalliita, mutta hinta yleensä laskee kokemuksen lisääntyessä. Kun menetelmät kehittyvät, on mahdollista saada suuret taloudelliset säästöt sopivaa menetelmää sovellettaessa sopivaan kohteeseen. Menetelmät kehittyvät vain yrityksen ja erehdyksen kautta.

Liikennehaittakustannusten osuus kokonaiskustannuksista vaihtelee huomattavasti riippuen monesta eri tekijästä. Liikennehaittakustannusten prosentuaalista suuruutta on hyvin vaikea arvioida edes yleisellä tasolla, koska se vaihtelee hyvin paljon tapauskohtaisesti. Lisätutkimuksia tarvitaan mikäli liikennehaittakustannuksia halutaan arvioida tarkemmin.

Rataverkolla on suhteellisen paljon pengerpaalurakenteita. Osa rakenteista on iäkkäitä, mutta niiden kunnon seuraamiseen ei ole olemassa menetelmiä. Rataverkolla olevien paaluhattualueiden ja paalulaattojen tilaa voidaan tutkia ainoastaan koekuoppia tekeillä tai kairauksin. Uusiin rakennettaviin paalulaattoihin on syytä asentaa tarkastuslaitteisto, jonka avulla pystytään seuraamaan rakenteen kuntoa. Ermanninsuon paalulaattojen uusimisen yhteydessä on meneillään paalulaattojen käyttäytymistä mittaavat seurantamittaukset.

Pengerpaalurakenteiden sijainneista ei ole olemassa rekisteriä. Nyt ollaan tekemässä ensimmäistä paaluhattu- ja paalulaattarekisteriä väliltä Toijala-Turku. Pengerpaalurekisterien tekeminen on järkevää, koska rakenteiden sijainti tulisi olla tiedossa. Kunnossapitäjät ja rakentajat hyötyisivät rekisteristä kun pengerpaalurakenteiden sijainti- ja tyyppitieto olisi helposti saatavilla. Kunnossapitäjien on hyvä tietää, miten pehmeiköt on perustettu. Mikäli radan painumista havaitaan, on tarpeen tietää välittömästi, onko kyseinen rataosuus perustettu paaluille. Yleensäkin radanpitäjän on tärkeää tietää sellaiset rataosuudet, joihin on tehty pohjanvahvistusrakenteita. Tämä auttaa ohjelmoimaan korjaustarpeita.

Ermanninsuolla kokeiltua 3D-maatutkausmenetelmää kannattaisi testata paaluhattualueella. Kallistuneet paaluhatut ja mahdollinen holvauksen purkautuminen näkyisi todennäköisesti mittaustulosteesta.

Suomen rataverkolla on paljon maanvaraisesti perustettuja ratoja, joiden kunnossapitokustannukset painumisen takia ovat huomattavia. Moniin tällaisiin kohteisiin saattaisi olla taloudellisesti kannattavaa rakentaa paalulaatta tai muu pohjanvahvistusrakenne kokonaiskustannusten minimoimiseksi.

LÄHDELUETTELO

Fagerholm, K. 1997. Rakennetut radat ja geotekniikka. Sisäinen muistio. Oy VR-Rata Ab.

Futurtec 2005. Case Ermanninsuo. Raportti. Futurtec Oy. 19.5.2005. 58 s.

Geomap 2005. Sipilä-Mikkeli, pehmeikkö 13 (Kotakorpi). Loppuraportti. Geomap Oy. 20.5.2005. 19 s.

Grafiscreen 2005. <www.grafiscreen.fi>. Viitattu 12.4.2005.

Hakala, S. 2003. Seinäjoki-Oulu, pohjanvahvistustoimenpiteiden suunnitteluperusteet ja kustannusarvio. Geotekninen tarveselvitys. 26.2.2003. 14s.+18 liites.

Harjula, H. 1995. Lemunsuo II:n paaluhattualueen korjaus Ervelä Km 118+978,6...Km 119+831,2. VR Ratayksikkö/Geo. 10.3.1995. 4s.+2 liites.

Horttanainen, J. 2005. Kapasiteetilaskelmat Ermanninsuon vaurioituneesta paalulaatasta. Sisäinen muistio. Oy VR-Rata Ab. 31.10.2005. 13 s.

Jääskeläinen, H. & Rathmayer, H. 1975. Paaluhattujen käyttö tie- ja rautatiepenkereissä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Helsinki. 89 s.

Kataja, J. 2001. Tukikerroksen vaihto koalueella Vihanti-Oulu. Tutkimusraportti. RHK. 16.11.2001. 25 s.

Kujala, J. 2005. Paalulaattarakenteiden suunnittelu. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 142 s.+10 liites.

Luokkakallio, J. & Mantere, P. 2004. Ermanninsuon paalulaatan korjaus 182+240-182+321. Rakennekohtainen työselitys. Suomalainen Insinööritoimisto Oy. 14.5.2004.

Mara, J. 2000. Puupaaluilla perustettujen tierakenteiden vauriot ja korjausmenetelmät. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 110 s.+26 liites.

Matela, E. 2005a. Sisäisiä muistioita ja luonnoksia. Oy VR-Rata Ab.

Matela, E. & Kulman, M. 2004. Vaurioanalyysi Ermanninsuon paalulaatasta. Oy VR-Rata Ab. 26.10.2004. 1 s.

Merinen, P. 2004. Kirkkonummi-Turku, paaluhattuselvitys. Tarveselvitys. Oy VR-Rata Ab. 15.9.2004. 13 s.

Natunen, M. 2004. Ratainvestointien optimaalinen ajoitus. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, tuotantotalouden osasto.

Nissinen, M. 2005a. Vertailu paalulaatan asentamisesta nykyisen raiteen alle tai nykyisen raiteen viereen. Ratahallintokeskus. 20.1.2005. 9 s.

Nissinen, M. 2004. Työraon vaikutus kustannuksiin välillä Vihanti-Tuomioja, Erityistyö. Tampereen teknillinen yliopisto. 19.11.2004. 35 s.+5 liites.

Nyby, M. 2004. Ratatöiden aikaiset liikennejärjestelyt henkilöliikenteen näkökulmasta. Erikoistyö. Tampereen teknillinen yliopisto. 30 s.

Nylund, S. 1978. Tie- ja ratapenkereissä käytettävien paaluhattujen käyttöalueet ja rakenteellinen mitoitus. Licensiaattityö. Teknillinen Korkeakoulu. 11.10.1978. 66 s.

Parkkila, R. 2005. Kirkkonummi-Turku, Korjauskohteiden rakentamissuunnittelu, paaluhattualueiden korjaus, paikallavalulaattojen rakentaminen, stabilointielementtien valmistaminen. Työselitys. 31.3.2005. 9 s.

Pelkonen, A. 2005. Seinäjoki-Oulu painuma-alueen hoito kunnossapitoa lisäämällä. Sähköpostiviesti. Oy VR-Rata Ab. 25.10.2005.

Peltoniemi, M. 1988. Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät, 515 Ota-kustantamo 1988, ISBN 951-672-056-0.

Pesonen, J. 2005. Karkea laskelma henkilö- ja tavarajunien peruuttamisesta osakeyhtiölle aiheutuvista kustannuksista. Sisäinen muistio Oy VR-Rata Ab. 10.11.2005. 1 s.

Ramboll 2004. Suoveden syövyttävyys Humppilan ratapainuman kohdalla. Ramboll Finland Oy, Helsinki. 22.4.2004.

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1999. Geotekniikka. Otatieto. 307 s.

Rantamäki, M. & Tammirinne, M. 2000. Pohjarakennus. Otatieto. 232 s.

Rataverkko 2020. 1999. Peruskartta-aineisto. Insinööritoimisto Perusfundamentti Oy:n tekemä selvitys. 4.2.1999.

RHK. Taustalaattaelementtien TL1...TL9 tekninen työohje. 1 s.

RHK 1999. Ratahallintokeskus. Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys ja laatuvaatimukset (RMYTL), Osa 3, Perustamis- ja vahvistamistyöt. Helsinki. 89 s.

RHK 2001. Ratahallintokeskus. Sähköratamääräykset. Ratahallintokeskuksen julkaisu- ja. Helsinki. 51 s.+20 liites.

RHK 2002a. Ratahallintokeskus. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 3, Radan rakenne. 44 s.+31 liites.

RHK 2002b. Ratahallintokeskus. Oikorata Kerava-Lahti, paalulaattojen suunnittelu- ja rakentamisohje. Oulu. 20.8.2002.

RHK 2004a. Ratahallintokeskus. Ratatekniset määräykset ja ohjeet. Osa 13, Radan tarkastus, 30.8.2004.

RHK 2004b. Ratahallintokeskuksen ja VR Osakeyhtiön välinen Rautatielain (198/2003) 12 §:n mukainen rataverkon käyttösopimus. Sopimus RHK-578. 22.11.2004. 7 s.+7 liites.

RHK 2005a. <www.rhk.fi> (/Rataverkko/Tietoja Suomen rautateistä). Viitattu 24.5.2005.

RHK 2005b. Ratahallintokeskus. Raiteentarkastustulokset ja niiden tulkinta, sisäinen ohje. 28.1.2005. 22 s.+4 liites.

RHK 2005c. Ratahallintokeskus. Stabiloinnin käytön perusteet rautatiepenkereessä. Liite hankkeen suunnitteluperusteisiin. Seinäjoki-Oulu palvelutason parantaminen, yleissuunnitelma. 4.8.2005. 2 s.

RIL 95, 1974. Pohjarakennus. Helsinki. Suomen rakennusinsinöörien liitto. ISBN 951-758-003-7. 459 s.

RPC 2003. Passengers' attitudes towards engineering works. http://www.railpassengers.org.uk/site/Council/Our_Work/Performance/News/RPCPublications/Council/Engineering_works. viitattu 20.10.2005. 34 s.+24 liites.

Silvast, M. 2005. Ermanninsuon oikaisun 3-ulotteinen maatutkaluotaus. Raportti 17.05.2005. Roadscanners Oy. 12 s.

SIPT 2004. Suomen IP-Tekniikka Oy. Ilmalan alueen seinustojen korjaussuunnittelu. Työkohtainen työselitys. 20.4.2004.

SITO. Suomalainen Insinööritoimisto Oy:n tekemiä suunnitelmapiirustuksia.

SITO 1994. Ermanninsuon oikaisu. Työkohtainen työselitys. Suomalainen Insinööritoimisto Oy.

SITO 2000a. Paikalla valettava pengerialla. Korttio-Arolammi. Suomalainen Insinööritoimisto Oy. 5.4.2000.

SITO 2000b. Paikalla valettava pengerlaatta. Korttio-Arolammi. Suomalainen Insinööritoimisto Oy. 31.1.2000. 4 s.+1 liites.

SITO 2004b. Tampere-Seinäjoki, Nopeuden nosto, koerakennuskohde n:o 90. Laadunvalvonta- ja asiantuntijatyön raportti, keskeneräinen. Suomalainen Insinööritoimisto Oy. 32 s.

Suomalainen, J. 1997. Maarakennustöiden työkohtainen työselitys rataosan Helsinki-Turku paaluhattukenttien korjauksesta välillä Km 43+642-159+798. Oy VR-Rata Ab. 7.4.1997.

Tie- ja vesirakennushallitus. 1972. Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, osa IV. Helsinki. Valtion painatuskeskus. 408 s.

Tiehallinto 2001a. Tien perustamistavan valinta, pohjanvahvistus- ja perustamismenetelmät. Tiehallinto.

Tiehallinto 2001b. Paalulaattojen ja paaluhatturakenteiden suunnitteluohje. Helsinki 2001. ISBN 951-726-817-3. 46 s.

Tiehallinto 2002. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 19/2002, Pohjarakentamisen kustannustietoja.

Tielaitos 1993. Pengerpaalutus. Tielaitoksen selvityksiä 21/1993. Helsinki 1993. ISBN 951-47-6993-7. 75 s.+8 liites.

Tuhola, M. 2005. Väylän alusrakenteen elinkaarikustannusmalli. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu. Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. 17.2.2005.

Tuomaala, L. 1989. Pengerlaatan teknistaloudellinen selvitys. Diplomityö. Oulun yliopisto. 54 s.+41 liites.

VR 1937. Valtion rautatie 1912-1937, II osa. Valtioneuvoston kirjapaino. Helsinki 1937. 886 s.

VR 1976. Rautatien maarakennustöiden yleinen työselitys. 912 Vahvistustyöt. Valtion Rautatiet, rataosasto. 1976.

VR & SITO 1994. Pengerlaatat. Tyypipiirustusohje. Valtion Rautatiet ja Suomalainen Insinööritoimisto Oy. 21.3.1994.

VTT 2001. Tien pohja- ja päällysrakenteet (TPPT)-tutkimusohjelma. Menetelmäkuvaus 13. Tien rakennekerrostutkimukset. VTT. Yhdyskuntatekniikka, 2001.

Wikipedia. 2005.<http://fi.wikipedia.org/wiki/Rautateiden_historia>. Viitattu 25.5.2005.

HAASTATTELUT

Blomqvist, Egon. 2005. VR Osakeyhtiö, ohjauspalvelu. Haastattelu 18.10.2005.

Collan, Erkki. 2005. Projektipäällikkö. Oy VR-Rata Ab. Useita haastatteluja.

Katajisto, Raimo. 2005. Rataesimies. Oy VR-Rata Ab. Haastattelu 27.9.2005.

Keränen, Ilkka. 2005. Projektipäällikkö. VR Osakeyhtiö, kaukoliikenne. Haastattelu 25.10.2005.

Koskinen, Kari. 2005. Tuotepäällikkö. raiteenmittaus. Oy VR-Rata Ab. Haastattelu 30.6.2005.

Kulman, Mauri. 2005. Suunnittelija, geotekniikka. Oy VR-Rata Ab. Useita haastatteluja 2005.

Matela, Esko. 2005b. Suunnittelija, siltatekniikka. Oy VR-Rata Ab. Useita haastatteluja.

Mäki, Erkki. 2005. Toimitusjohtaja. Megasiirto Oy. Haastattelu 14.12.2005.

Nissinen, Esa. 2005b. Tarjouspäällikkö. Oy VR-Rata Ab. Haastattelu 19.9.2005.

Roos, Vilho. 2005. Siltaryhmän päällikkö, eläkkeellä. Oy VR Rata Ab. Haastattelu 15.12.2005.

Suomalainen, Jouko. 2005. Georyhmän päällikkö. Oy VR-Rata Ab. Useita haastatteluja.

Sinisalo, Ilkka. 2005. Siltaryhmän päällikkö. Oy VR-Rata Ab. Useita haastatteluja.

LIITTEET

Liite A. Sienilaattaselvitys, 6 s.

Liite B. Leppävaaran seudun ja Kerava-Lahti-oikoradan sienilaatat, 2 s.

LIITE A (1/6)

Sienilaattaselvitys:

tehty syksyllä 2005:

Henkilö:	Sienilaattatieto:	Tieto saatu:
Jorma Pesonen, projektipäällikkö, Oy VR-Rata Ab	Sienilaattatieto: Ermanninsuo, Hinkan oikaisu. Helsinki-Tampere: Ihalammen oikaisussa pystysalaojat ja painopenkka. Hinkan oikaisussa sienilaatta ja valvojana Jouni Seppänen, kysy myös häneltä. Peltolammin paalulaatassa siltamainen rakenne. Hollon oikaisussa ei erikoisrakenteita. Kysy Erkki Ryynänen, Kouvola.	haastattelu
Erkki Collan, projektipäällikkö, Oy VR-Rata Ab	Helsinki-Turku eli rantaradan oikaisuista Erkki merkitsi peruskarttoihin kohdat, joissa saattaa olla paalulaattoja. Näiden kohtien suunnitelmat käyty läpi. Suunnitelmissa saattaa olla paaluhatut, mutta todellisuudessa rakennettu paalulaatta. Vanhoista työmaapöytäkirjoista pitäisi löytyä tieto laattojen tyypeistä. Pöytäkirjat pääkonttorissa, Hämeenlinnan maakunta-arkistossa tai Ilmalan konepajalla.	haastattelu
Jouko Suomalainen, georyhmän päällikkö, Oy VR-Rata Ab	Sienilaattatieto: Ermanninsuo	haastattelu
Kalle Toropainen, Suunnittelupäällikkö, Oy VR-Rata Ab, Itä-Suomi	Ei sienilaattatietoa	puhelin- keskustelu
Jarmo Tomperi, Suunnittelupäällikkö, Oy VR-Rata Ab, Etelä-Suomi	Ei sienilaattatietoa	sähköposti
Toimi Aro, Suunnittelupäällikkö, Oy VR-Rata Ab, Länsi-Suomi	Ei sienilaattatietoa	puhelin- keskustelu
Kalervo Räisänen, Oy VR-Rata Ab, Pohjois-Suomi	Ei sienilaattatietoa	sähköposti

LIITE A (2/6)

Henkilö:	Sienilaattatieto:	Tieto saatu:
Pekka Mantere, Suunnittelija, SITO Oy	Siton rakenneosastolla ei ole suunniteltu mihinkään kohteeseen sienilaattoja. Ermanninsuon suunnittelu eteni aikanaan kaiketi sillä tavalla, että geoteknikot määrasivät paalulaatan laajuuden ja korkeustason. Urakoitsijalle jäi sitten lopullisen paalulaatatyyppin valinta tyyppilaattaohjeen mukaisista ratkaisuista. Tosin geosuunnitelmissa oli esitetty paalujen sijoittelu sienilaattaratkaisun mukaisesti. Geopuolellakaan eivät muistaneet muita sienilaattakohteita.	sähköposti
Jaakko Lammi, rakennusmestari, Oy VR-Rata Ab, Karjaa	Ei sienilaattatietoa	sähköposti
Erkki Ryyänen, Tarjouspäälikkö, Oy VR-Rata Ab, Kouvola	Leppävaaran seudulla voi olla?, Savon suunnalla ei tietääkseen ole, Salon ympäristössä saattaa olla	Puhelin- keskustelu
Seppo Jaatinen, Suunnittelija, eläkeläinen, Oy VR-Rata Ab	Pukinmäki, raide 1 (itäpuolinen) & mahdollisesti Leppävaara	haastattelu
Jouni Seppänen, Hinkan sienilaatan valvoja	Ei tiedä muita kuin Hinkan oikaisun sienilaatan	Puhelin- Keskustelu
Kari Kivekäs, rakennusmestari, Oy VR-Rata Ab, Tampere	Ei sienilaattatietoa	Puhelin- keskustelu
Olavi Viitanen, Toimialapäällikkö, Oy VR-Rata Ab	Ei sienilaattatietoa	Puhelin- keskustelu
Raimo Mäkelä, Projektipäälikkö, Oy VR-Rata Ab, Itä-Suomi	Ei sienilaattatietoa	puhelinkes- kustelu
Teuvo Tiilikainen, Suunnittelija, Oy VR-Rata Ab	Leppävaaran seudulla saattaa olla, ei ole ollut tekemisissä sienilaattojen kanssa	maininta

Haastattelut 1990-luvulla rakennetuista oikaisuista:

(=potentiaalisia sienilaattakohteita)

Henkilö	Kommentit	Tieto saatu
Hannu Järvinen, raidegeometrian suunnittelija, Oy VR-Rata Ab, Tampere	Tarkista Orivesi-Jyväskylä -väli (Torkkeli, Läkipohja), Kokemäki-Pori ("Leenan läpi"), Seinäjoki-Louko, Pöytävuoren tunnelin ympäristö, Tku-Toijala -välillä hänen mielestään vain Ermanninsuo, Lielähti-Kokemäki ei pitäisi olla	puhelinhaastattelu
Toimi Aro	Seinäjoki-Louko, 2-raiteinen, ennen Seinäjokea tehty paalulaattaa (rakentajat tietää? Pesonen), Hollon rataoikaisu, Sääksjärvi-Perkiö	puhelinhaastattelu
Reijo Taimela, raidegeometrian suunnittelija, Oy VR-Rata Ab, Helsinki	Tampere-Kokemäki -rataosalla oikaisuja 1997, Pöytävuori, Tku-Toijala	haastattelu
Jarmo Nurmi, Raidegeometrian suunnittelija, Oy VR-Rata Ab, Helsinki	Tarkista Ervelän suo. Kysy Reijo Taimela, Olavi Viitanen ja Kalervo Räisänen	haastattelu

Arkistospelvitys saatujen vihjeiden perusteella:**Pehmeikkörekiesterit käyty läpi ja poimittu tiedot paalulaatoista:**

Pehmeikkörekiesteri:	Paalulaattoja	Paalulaatan kilometrit	Tarkistus arkistosta
Elijärvi-Röyttä	Ei	-	-
Hakosilta-Vainikkala	KYLLÄ	Pulsan kohtausraide 260+556-260+831	tasapaksu laatta
Hakosilta-Vainikkala		Raipon koht.raide vas. 268+450-268+585	arkistosta ei löytynyt laattaa
Hakosilta-Vainikkala		283+240-283+360	Tasapaksu laatta
Harjavalta-Mäntyluoto	KYLLÄ	"Leenan läpi", 309+521- 309+599	arkistosta ei löytynyt laattaa
Juurikorpi-Hamina	Ei	-	-
Kirkkonummi-Siuntio	KYLLÄ	38+100-38+500	Siton suunnittelema ta- sapaksu laatta
Kirkniemi-Hanko	Ei	-	-
Kouvola-Kotkan satama	Ei	-	-
Kouvola-Lauritsala	Ei	-	-
Luumäki-Imatra	Ei	-	-
Orivesi-Haapamäki- Jyväskylä	Ei	-	-
Riihimäki-Kouvola	Ei	-	-
Tampere-Seinäjoki	Ei	-	
Tornio-Kolari	Ei	-	-

Vihjeiden perusteella RHK:n ja Oy VR-Rata Ab:n arkistoista tarkistettut kohteet:

Kohde	Km	Löytynyt
Sääksjärvi-Perkiö	179+380-179+460	porapaalulaatta?
Sääksjärvi-Perkiö	179+520-179+870	Multisillan perngerlaatta?
Sääksjärvi-Perkiö	180+510-180+616	Peltolammin paalulaatta R3:n alla, Rsu/geo 29/00 suunnitelmissa sienilaatta, 180+565-180+572 korvattu massanvaihdolla
Hollon oikaisu, Lempäälä	~180	Laattoja ei löytynyt arkistosta
Jyväskylä-Pieksämäki, Pönttövuoren oikaisu	397+080-397+200	Metsolahden paalulaatta, tasapaksu laatta
Koski-Salo, Ervelä	120-124	suunniteltu v. 85, ei sienilaattoja, sortuma v. 95 korjattu tasapaksulla laattalla
Leppävaara	Km 10->	lisäraiteet v. 93, paalulaatta & hattuja, tyypistä ei tietoa
Seinäjoki-Louko	Km ~330-331	paaluhattuja, v.90 laatta, luultavasti ei sini
Pukinmäki, itäisin raide		Löydetyistä suunnitelmista ei löydy sini-laattoja
Tampere-Kokemäki	231+310-231+335	Kolmen paalun paaluhattu, Karkun ratapiha, Vammala
Tampere-Kokemäki	~246+620...	Paaluhatut, Vaunujoen rataoikaisu, Lielähti-Peipohja, Vammala-Kiikka, 12221/A6, laatan tyypistä ei tietoa
Tampere-Kokemäki	253+103	Lausunto: Kirkelän aks:n taustalla 3-paalun laattaelementti

LIITE A (6/6)

Erkki Collanin vinkit rantaradalta, Helsinki-Turku:

Siuntio	~52	tod.näk. ei paalulaattaa
Pohjanjärvi	~130-133	elementtilaatta ja valettu laatta. Suunnitelmissa puhutaan myös sienilaatasta, sijainti ei selviä.
Tottola	~140-142	Alkuosalla tod.näk. paaluhatut, loppupäässä elementtilaatta
Salonseutu	~142-145	tod.näk. ei paalulaattaa
Halikon oikaisu	147-148	Suunniteltu paaluhatut, muutettu sienilaataksi, useita sienilaattoja
Pitkäkaari	151-155	tod.näk. paaluhatut
Trönberg	159+500-160	Suunnitelmat vuodelta 1986, tod.näk. ei sienilaatta
Kevola	165-166	tod.näk. ei paalulaattaa

Varmistetut sienilaatat:

Ermanninsuo, Toijala-Turku
Hinkan oikaisu, Tampere-Helsinki
Halikon oikaisu, Helsinki-Tampere
Leppävaaran seutu, Helsinki-Turku
Oikorata, Kerava-Lahti

Mahdollisia sienilaattakohteita, varmistusta ei ole löytynyt:

Pukinmäki (Hki-Ri)
Pohjanjärvi (Hki-Tku Km 130-133)

LIITE B (1/2)

Kaupunkirata, Leppävaaran seudun sienilaatat silta-arkiston mukaan:

(raidenumeroa ei ole merkitty)

AlkuKm	LoppuKm	AlkuKm	LoppuKm
010+156	010+266	010+839	010+893
010+156	010+235	010+906	010+923
010+235	010+315	011+175	011+240
010+315	010+376	011+256	011+331
010+156	010+231	011+331	011+406
010+231	010+306	011+406	011+476
010+306	010+376	011+476	011+556
010+141	010+156	011+586	011+661
010+465	010+535	011+661	011+736
010+636	010+714	010+266	010+356
010+714	010+791	010+356	010+376
010+791	010+834	010+376	010+446

Kerava-Lahti-oikoradan sienilaatat:

(raidenumeroa ei ole merkitty)

AlkuKm	LoppuKm	AlkuKm	LoppuKm
030+106	030+255	046+290	046+550
030+750	031+371	052+021	052+229
031+430	031+950	053+089	053+327
032+617	032+808	053+527	053+815
031+150	031+348	053+327	053+527
031+460	032+027	057+737	057+977
032+138	032+471	059+352	059+867
032+507	032+788	061+299	062+296
032+916	033+353	064+191	064+988
035+210	035+352	065+591	066+139
036+199	036+330	067+530	067+840
036+417	036+602	069+909	070+000
036+560	036+590	075+266	075+359
040+682	040+843	075+725	078+912
041+342	041+398	079+849	080+315
041+629	041+653	082+530	082+654
041+653	041+754	087+620	087+776
042+522	042+965	087+856	087+991
043+988	044+033	088+473	088+659
044+181	044+868	093+226	094+069
045+628	045+944		